UNIVERSITÉ DE REIMS

FACULTÉ MIXTE DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE REIMS

Année 1970 N° 10

THÈSE

pour le

DOCTORAT EN MÉDECINE

(Diplôme d'Etat)

par

Georges BONHOURE
Ancien externe du Centre Hospitalier Universitaire de Reims
né le 21 Septembre 1930 à PARIS XII•

Michel ROCHE
Ancien externe du Centre Hospitalier Universitaire de Reims
né le 14 Juin 1929 à CHAOURCE (Aube)

Présentée et soutenue publiquement le 30 JUIN 1970

Étude des variations des paramètres respiratoires, de la glycémie, des Acides Gras libres plasmatiques au cours de l'effort musculaire chez des sujets entrainés et non entrainés en hypoxie (Georges Bonhoure) et en surcharge glucosée (Michel Roche).

Président : J. M. DUBOIS de MONTREYNAUD, Professeur

UNIVERSITÉ DE REIMS

FACULTÉ MIXTE DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE REIMS

Année 1970 N° 10

THÈSE

pour le

DOCTORAT EN MÉDECINE

(Diplôme d'Etat)

par

Georges BONHOURE
Ancien externe du Centre Hospitalier Universitaire de Reims
né le 21 Septembre 1930 à PARIS XII[e]

Michel ROCHE
Ancien externe du Centre Hospitalier Universitaire de Reims
né le 14 Juin 1929 à CHAOURCE (Aube)

Présentée et soutenue publiquement le 10 JUIN 1970

Étude des variations des paramètres respiratoires, de la glycémie, des Acides Gras libres plasmatiques au cours de l'effort musculaire chez des sujets entrainés et non entrainés en hypoxie (Georges Bonhoure) et en surcharge glucosée (Michel Roche).

Président : J. M. DUBOIS de MONTREYNAUD, Professeur

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

FACULTE MIXTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE DE REIMS

Directeur honoraire de l'Ecole Nationale de Médecine et de Pharmacie de REIMS
..... M. R. FRANQUET

Doyen honoraire de la Faculté Mixte de Médecine et de Pharmacie de REIMS
..... M. L. VILDE

Professeurs honoraires.....MM.A.JACQUINET, M.LEULIER, R.LEFEVRE

DOYEN : M. H. EZES

ASSESSEUR : M. J. LE MEN

PROFESSEURS TITULAIRES

MM.

M. AUROUSSEAU	Pharmacodynamie
J. BASTIEN	Clinique Chirurgicale
J. BOREL	Biochimie médicale
G. DROPSY	Bactériologie-Parasito Virologie
J.M. DUBOIS DE MONTREYNAUD	Pathologie expérimentale
H. EZES	Clinique obstétricale
M. FANDRE	Clinique de pédiatrie et de puériculture
J. GARDENT	Chimie organique
H. GEOFFROY	Pathologie médicale
J. LE MEN	Pharmacie chimique
J. LEVY	Pharmacie galénique
N.....	Pathologie chirurgicale
P. QUEREUX	Anatomie
M. QUIRIN	Matière médicale
J. VALEYRE	Biophysique médicale
L. VILDE	Clinique médicale
D. ZAGURY	Histologie-embryologie

PROFESSEURS TITULAIRES A TITRE PERSONNEL

MM.

T. CAULET ..... Anatomie pathologique

R. NATAF ..... Ophtalmologie

PROFESSEURS SANS CHAIRE

MM.

G. BOFFA ..... Biochimie médicale

H. CHOISY ..... Pharmacologie

R. DOURIS ..... Physique

J. DUCHENNE ..... Microbiologie

P. GAUGE ..... Physiologie

Y. GERARD ..... Chirurgie générale

G. PETIT-MAIRE ..... Hygiène, médecine préventive et médecine du travail

J. RISTELHUEBER ..... Thérapeutique

PROFESSEURS CHARGES DE COURS A TITRE PERMANENT

MM.

M. JACQUET ..... Anatomie pathologique

R. LARDENNOIS ..... Pathologie chirurgicale

MAITRES DE CONFERENCE AGREGES

MM.

J.J. ADNET ..... Anatomie pathologique

A. BAJOLET ..... Cardiologie

J. BOY ..... Hématologie

A. CATTAN ..... Cancérologie

J. CLAUDE ..... Toxicologie

R. COFFIN ..... Pédiatrie

P. COUDOUX ..... Médecine générale

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41542728_0004

MAITRES DE CONFERENCE AGREGES (suite)

MM.

M. DUFOUR ..... Médecine générale

J. GOUGEON ..... Médecine générale

F. GUYOT ..... Neuro-chirurgie

M. HARDEL ..... Cardiologie

G. LEDOUBLE ..... Chimie minérale

M. LEUTENEGGER ..... Médecine générale

J. MORICE ..... Neuro-Psychiatrie

Mlle L. OLIVIER ..... Pharmacie galénique

S. PAROT ..... Physiologie

G. PASCALIS ..... Neuro-Psychiatrie

F. PENNAFORTE ..... Pédiatrie

M. RANDOUX ..... Chimie biologique

Mlle J. RENDOING ..... Anesthésiologie

J. RIVES ..... Chirurgie générale

M. SEGAL ..... Electroradiologie

Secrétaire de la Faculté ..... R. DOHAIN

Bibliothécaire ..... Mme J. PIETHOIS

Par délibération en date du 9 Février 1968, la Faculté a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation , ni improbation.

- A nos Maîtres de la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Reims,

- A nos Maîtres du Centre Hospitalier Régional de Reims :

MM. J. BASTIEN, P. GERMAIN, L. HARMEL, P. HECQUET,

A. JACQUINET, R. LARDENNOIS, R. LEFEVRE, A. PERRIN,

- A M. le Professeur Agrégé J. BOY,

- A MM. les Professeurs H. CHOISY, J.M. DUBOIS de MONTREYNAUD et Ph. GAUGE et à leurs collaborateurs du laboratoire de Pharmacologie et Chimie des Explorations Fonctionnelles : M. POTRON, Mme MOREAU et M. PISANI et du laboratoire de Physiopathologie Respiratoire : M. MUZZOLON et Mme BETKA.

Ils nous ont dirigés et aidés dans notre travail.

Nous exprimons notre gratitude aux étudiants en Médecine de la Faculté de Reims ainsi qu'aux étudiants du Centre Régional d'Education Physique et Sportive de Reims qui ont bien voulu se prêter à nos expérimentations.

- A Marie-Madeleine BONHOURE,

- A Sophie, Magali, Isabelle et Karine.

- A Jeanne ROCHE,

- A Didier et Delphine,

En témoignage de leur affectueux soutien.

- A nos parents, à nos amis,

- Aux professeurs d'Education Physique, nos collègues.

I N T R O D U C T I O N

En 1967, J.M DUBOIS de MONTREYNAUD, H. CHOISY et leurs collaborateurs (18) mettaient au point une méthode pour l'étude simultanée du taux de glucose sanguin et de la fonction pulmonaire enregistrés en continu chez des sujets volontaires pendant l'effort.

Le travail préliminaire de mise au point de la technique méritait d'être complété et les auteurs dans leurs conclusions souhaitaient que cette étude fût reprise sur une plus grande échelle.

Ces auteurs avaient pu noter que l'entraînement des sujets, la durée de l'effort, le moment où se situait cet effort au cours de la journée provoquaient des variations des paramètres enregistrés.

Nous avons donc tenté de poursuivre ces travaux en modifiant certaines conditions expérimentales comme la prolongation de l'effort, la réalisation d'une hypoxie, l'état de jeûne et en pratiquant des épreuves de charge en glucose.

L'exposé que nous présentons sera divisé en trois parties. Nous ferons d'abord un rappel de travaux antérieurs réalisés dans ce domaine. Ensuite nous décrirons le matériel employé et notre méthode de travail. Enfin pour terminer, nous ferons part des résultats que nous avons obtenus et nous essaierons d'en dégager des conclusions.

PLAN DE THESE

A - Travaux antérieurs - Bibliographie -

Ch 1 :	Variations des paramètres respiratoires lors de l'effort musculaire	M. BONHOURE
Ch 2 :	Conditions de travail en hypoxie	M. BONHOURE
Ch 3 :	Variations de la glycémie lors de l'effort musculaire	M. BONHOURE
Ch 4 :	Epreuve d'hyperglycémie provoqué par voie orale	M. ROCHE
Ch 5 :	Métabolisme des A.G.L.P.	M. ROCHE
Ch 6 :	Variations des A.G.L.P. lors de l'effort musculaire	M. ROCHE

B - Matériel et Méthodes

Ch 1 :	Technique	M. ROCHE
Ch 2 :	Déroulement des épreuves	M. ROCHE

C - Résultats obtenus

Ch 1 :	Epreuve d'effort dans les conditions normales	M. BONHOURE
Ch 2 :	Epreuve de surchage glucosée au repos	M. ROCHE
Ch 3 :	Epreuve d'effort après surchage glucosée	M. ROCHE
Ch 4 :	Epreuve d'effort en hypoxie	M. BONHOURE
Ch 5 :	Interprétation des résultats	MM. BONHOURE/ROCHE

D : Conclusion

E : Bibliographie

A - TRAVAUX ANTERIEURS

CH 1 : Variations des paramètres respiratoires à l'effort en normoxie.

Les paramètres respiratoires que nous avons retenus pour cette étude sont :

1°) La ventilation, la consommation d'oxygène, l'élimination de gaz carbonique exprimées en litres par minute.

2°) Le quotient respiratoire.

Il est représenté par le rapport : élimination de gaz carbonique sur consommation d'oxygène. Son étude est particulièrement intéressante en ce sens qu'il apporte des renseignements plus riches que ceux qui sont fournis par les deux paramètres dont il découle. Selon BRODAN V et KUHN - E (13) il est le reflet de deux processus métaboliques de l'organisme à l'effort: processus d'oxydation en Aérobie ... traduit par la consommation d'oxygène lors de l'exercice et mécanisme anaérobie dont le plus important est le phénomène de glycolyse avec production d'acide lactique. Un Q R d'une valeur proche de 1 témoigne d'une consommation presqu'exclusive de glucide. Si au contraire l'organisme consomme essentiellement des lipides la valeur numérique du Q R tend vers 0,7.

3°) L'équivalent respiratoire.

Sa valeur est donnée par le rapport ventilation sur consommation d'oxygène. Il représente le nombre de litres d'air ventilés pour 100 cc d'oxygène consommés et reflète ainsi la valeur fonctionnelle des poumons. Chez l'adulte au repos et dans des conditions normales sa valeur est comprise entre 20 et 26.

Au cours de l'effort musculaire les paramètres respiratoires subissent des variations importantes. Trois périodes caractéristiques sont à distinguer:

1 - Période d'adaptation.

2 - L'état d'équilibre.

3 - Période de récupération.

L'évolution de ces paramètres durant l'effort a déjà été longuement étudiée en laboratoire où il est facile de doser l'intensité de l'effort et de la maintenir constante durant toute l'epreuve. SADOUL en 1954 les a schématisés de la manière suivante : Fig N° 1 -

A - Les périodes d'adaptation et de récupération.

Si nous avons regroupé l'étude de ces deux phases en un seul paragraphe, c'est que les phénomènes observés présentent des analogies. C'est aussi parce que, traditionnellement, bien des auteurs les ont associées dans leurs publications.

La période d'adaptation est la période durant laquelle les paramètres respiratoires passent de leur valeur de repos à une valeur différente qu'ils conservent à l'état d'équilibre, si bien sûr, l'effort est maintenu à puissance constante.

La période de récupération assure le retour aux valeurs de départ.

Leur durée est fonction de plusieurs facteurs. Parmi eux nous retiendrons : ceux qui tiennent à la nature de l'effort et tout particulièrement à la puissance développée.

: Ceux qui dépendent du sujet. Parmi eux le degré d'entraînement tient une place considérable.

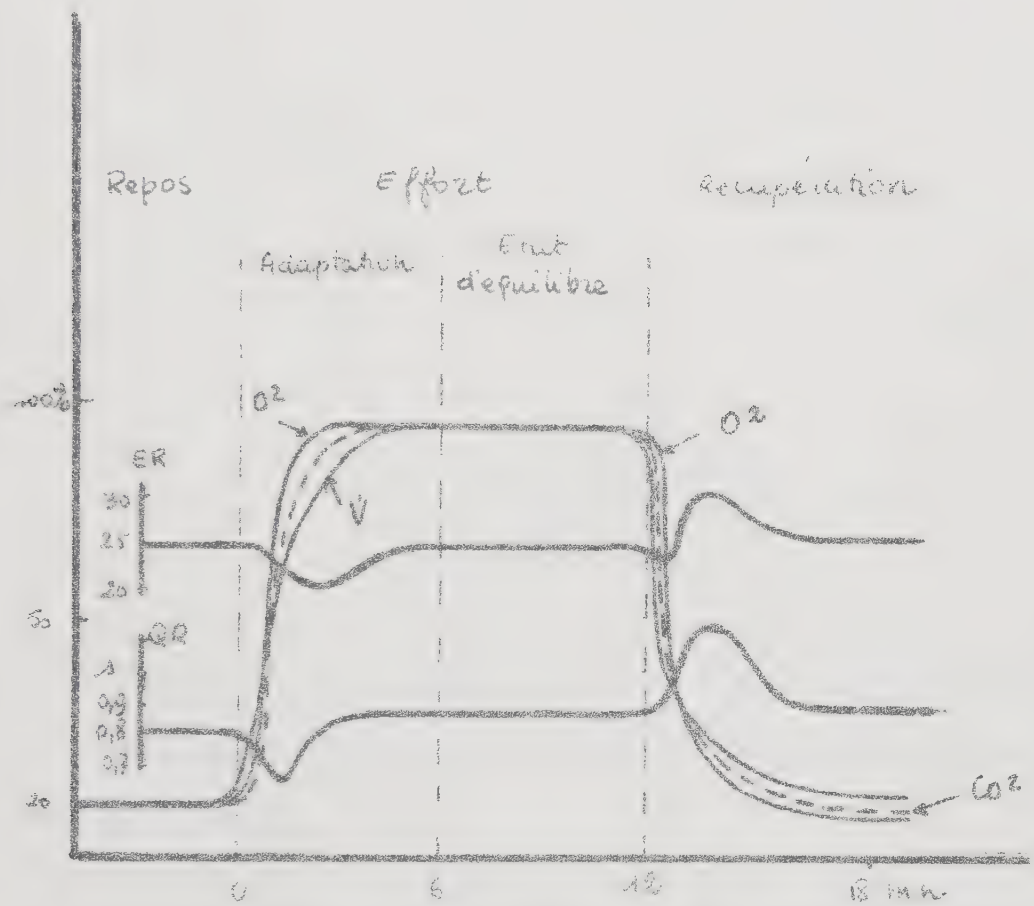


FIG 1 : D'après SADOUL

1- Ventilation, consommation d'oxygène et élimination de gaz carbonique

D'après la figure N° 1 il est aisé de constater que ces trois paramètres évoluent de manière tout à fait voisine. Toutefois "l'établissement d'un nouvel état d'équilibre ne se fait pas au même moment pour tous les paramètres " FLEISCH 1959 (43). Pour cet auteur, l'état d'équilibre est atteint successivement par la consommation d'oxygène, puis l'élimination de gaz carbonique et enfin par la ventilation. Les mêmes conclusions sont apportées par ROBINSON 1938 - SADOUL 1954. A l'inverse BOTTIN, JUCHMES (12) affirment que l'état d'équilibre est plus rapidement atteint par la ventilation que par la consommation d'oxygène. Un décalage est également constaté dans le retour aux valeurs de départ entre ces trois paramètres.

Allure des trois courbes.

Des travaux de HILL-LONG & LUPTON
de MARGARIA - EDWARDS & DILL
de HENRI & DEMOOR,

il ressort qu'il faille distinguer entre exercices de faible intensité et d'intensité élevée. Dans le premier cas, la consommation d'oxygène est exprimée par une exponentielle, dans le second, par la somme de deux exponentielles.

Pour GALETTI et collaborateurs (52) ces variations sont représentées à toutes les puissances étudiées par la somme de deux exponentielles.

DEJOURS et TEILLAC (30) reprenant le problème mènent leur étude en suivant l'évolution de la ventilation au cours des premières dizaines de secondes de ces deux périodes. Les mesures sont alors effectuées cycle par cycle et non pas, comme pour les auteurs précédents, minute par minute.

D'une façon constante apparaissent :

1 - Des changements ventilatoires immédiats.
Soit une augmentation en phase d'adaptation
Soit une diminution en phase de récupération

2 - Des changements progressifs faisant apparaître:
1 plateau d'une durée de 20 à 40 secondes
Un accroissement en phase d'adaptation
ou une diminution en phase de récupération,
l'un et l'autre étant constitués soit par une exponentielle, soit par la somme de deux exponentielles.
Fig : 2 et 3

A la suite des travaux de BERG qui représentait la chute progressive de la consommation d'oxygène par une courbe semi logarythmique DE MICHELI 1957 a utilisé la notion de demi-temps constant qui indique le temps nécessaire pour que l'excédent d'oxygène consommé, en raison de l'arrêt du travail, se réduise de moitié. Sa valeur étant réduite par l'entraînement, le demi-temps constant permet d apprécier la valeur fonctionnelle d'un sujet d'une manière très approximative.

JOYE. H en 1968 (66[illegible]), reprenant ces diverses notions, montre, à propos de la phase de récupération que le retour aux valeurs de départ est assuré en premier lieu par l'élimination de gaz carbonique puis par la consommation d'oxygène et enfin par la ventilation. Toutefois c'est l'abaissement de la consommation d'oxygène qui est le plus rapide en début de la récupération. Selon cet auteur, différents phénomènes interviennent à l'arrêt de l'activité musculaire.

1 - Une diminution du débit cardiaque provoquée par une augmentation de la résistance périphérique.

2 - l'oxydation de l'acide lactique.

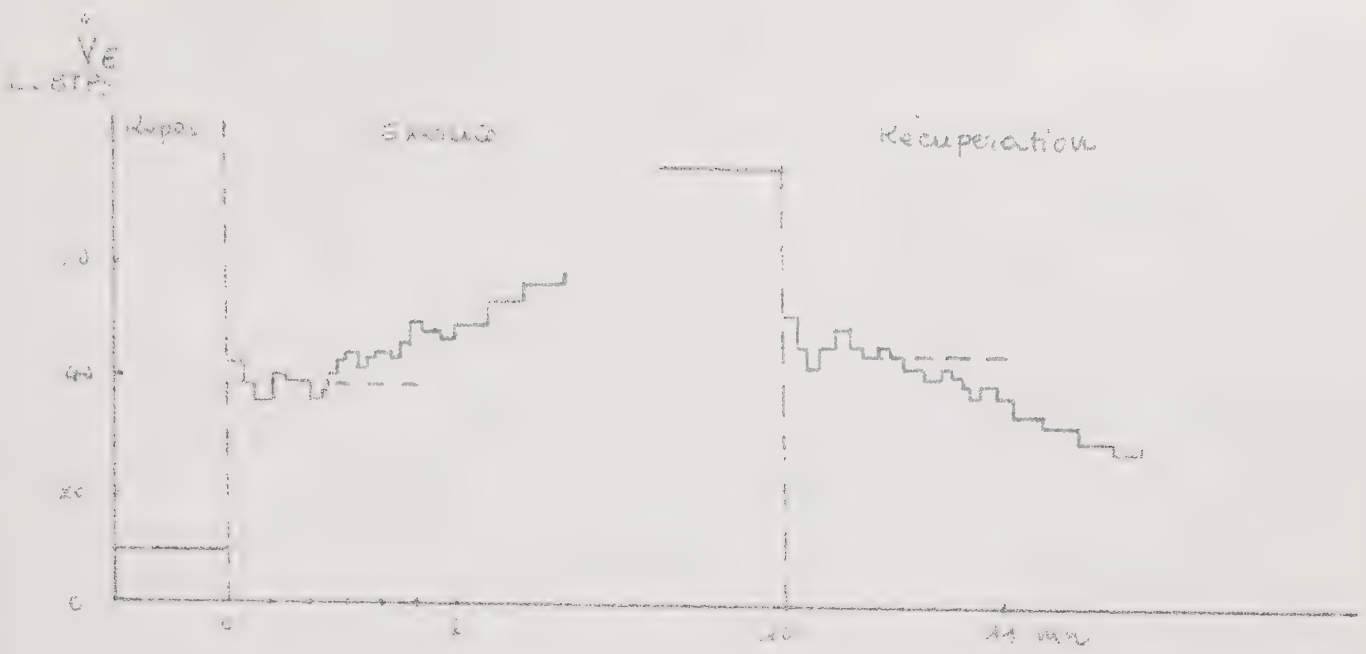


Figure 2 - D'après DEJOURS- TEYLAC

Pendant la première minute chaque segment horizontal correspond au débit ventilatoire d'un seul cycle. La longueur du segment correspond à la durée du cycle.

Pendant la 2ème minute chaque segment horizontal correspond à la ventilation moyenne pendant 10 secondes.
La respiration reste à peu près constante pendant 30 secondes.

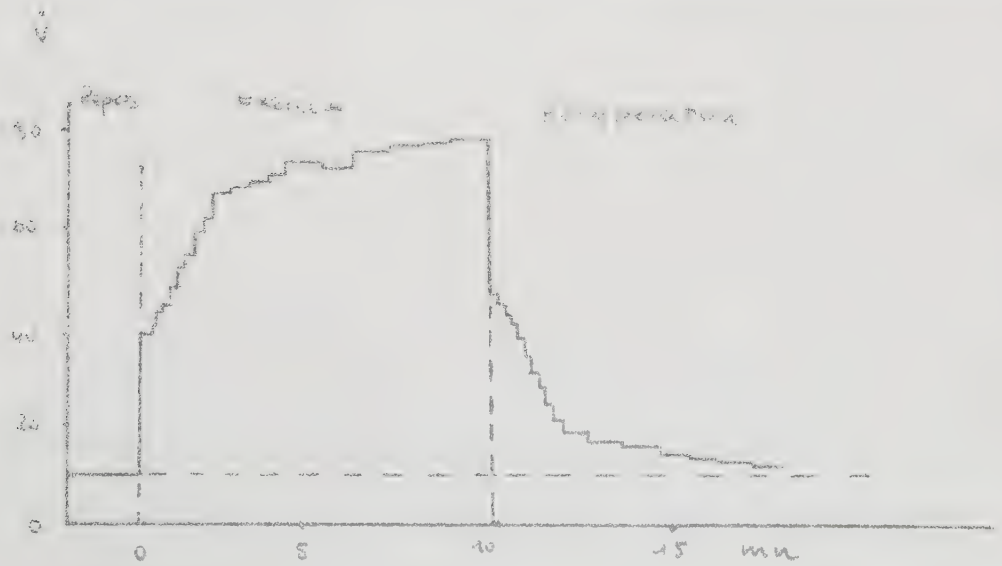


Figure 3 - D'après DEJOURS-TEYLAC

Le premier phénomène interviendrait pratiquement seul en début de la période de restauration pour la consommation d'oxygène alors que le taux d'acide lactique n'aurait pas d'influence.

Pour la ventilation et l'élimination de gaz carbonique, le taux d'acide lactique serait déterminant dès le début de la phase de récupération.

2 - Quotient respiratoire et équivalent respiratoire.

La figure N° 1 fait apparaître :

1) Que les courbes représentant les variations de ces paramètres durant les deux phases étudiées sont nettement différentes des précédentes. Par contre elles présentent entre elles une analogie indiscutable.

2) Que les seules variations observées se situent comme les précédentes aux seules phases d'adaptation et de récupération.

Allure des courbes.

Dans les deux cas on note :

1) A la phase d'adaptation :

Une légère descente suivie d'une remontée jusqu'à la valeur maintenue en état d'équilibre. Ces variations, si l'on se rappelle les définitions de ces paramètres, s'expliquent aisément par le décalage observé au niveau des trois autres courbes. La remontée du Q R , d'autant plus nette que l'exercice est intense, peut aussi s'expliquer par le fait que le glucose devient l'aliment prioritaire pour l'organisme.

2) A la phase de récupération :

Une évolution nette des deux paramètres , suivie d'un retour progressif aux valeurs de départ. La baisse rapide de la consommation d'oxygène en début de la récupération et l'hyperventilation relative qui permet à

L'excédent de gaz carbonique d'être éliminé plus rapidement que n'est payée la dette d'oxygène peuvent expliquer ces variations: BERG 1947 cité par DEN DENOLIN (31)

Il faut aussi retenir les théories de BRODAN V et de KUHNE (13), théories selon lesquelles le lactate formé au cours du travail d'une part, et le lactate libéré lors de l'appareil musculaire à l'arrêt de l'effort réagissent avec le pool bicarbonate. Il y a alors libération de gaz carbonique qui est expiré, d'où l'accroissement du Q R à ces deux moments et tout particulièrement dans les deux ou trois premières minutes de la récupération.

B - L'ETAT D'EQUILIBRE.

Pour un effort musculaire dont l'intensité demeure constante la valeur des paramètres respiratoires se stabilise au bout d'un certain temps à un certain niveau, si toutefois l'exercice continue à être supporté par le sujet.

En fait la notion de régime stable, durant l'état d'équilibre, est controversée.

Pour certains auteurs, le régime stable n'est constaté que dans certaines conditions liées à la consommation d'oxygène. Il faut ici faire intervenir la notion de consommation maximale d'oxygène qui est déterminée (DAMOISEAU et collaborateurs) (25) en soumettant les sujets à des exercices courts et d'intensité progressivement croissante. L'exercice qui épuise le sujet en 5 ou 6 minutes permet de chiffrer la consommation maximale d'oxygène. Pour ces auteurs, donc, il existe, par rapport à la consommation maximale d'un sujet, un seuil au delà duquel le régime stable ne peut être maintenu.

DILL 1930 - MARGARIA 1933 situent ce seuil aux 2/3 de la consommation maximale d'oxygène.

CHRISTENSEN et HOGBERG (19) constatent, chez un skieur de fond, un régime stable pour une consommation d'oxygène d'une valeur égale à 83% de la consommation maximale d'oxygène.

Anglo Saxons et scandinaves s'accordent pour reconnaître l'existence d'un régime stable pour un exercice d'intensité modérée. Ils en proposentla définition suivante : Le régime stable est obtenu pour un exercice exécuté à puissance constante si la quantité d'oxygène requise par l'exercice est égale à celle qui est fournie simultanément et si la dette d'oxygène n'augmente pas pendant toute la durée de l'exercice.

Les auteurs français et suisses affirment qu'il n'existe qu'un régime stable apparent et non pas authentique. Pour HAAB 1957, SADOUL 1957 ;.. il y a augmentation régulière de la ventilation en fonction de la durée, pour un exercice toujours exécuté à puissance constante. D'où l'exigence, pour eux, de formuler une nouvelle définition du régime stable. Ce type de définition, découlant des conditions expérimentales présente un certain caractère arbitraire. Sa formulation varie selon les sujets. Quelques exemples :

FLEISCH 1959. L'état d'équilibre est atteint quand:

1°) Les paramètres n'augmentent pas de plus de 5% entre la 10° et la 20° minute d'effort.

2°) Le Q R est stabilisé à une valeur compatible avec le niveau métabolique.

AEPLI 1959 accepte, pour des mesures effectuées aux mêmes moments une augmentation de 6% de la ventilation.

Pour SADOUL- Il y a rupture de l'état d'équilibre lorsque l'accroissement de la ventilation dépasse 10 % toujours aux mêmes moments ... etc.

Reprenant le problème, DAMOISEAU et COL 1961 (25) entreprennent des recherches sur ce sujet. Existe-t-il ou non un régime authentiquement stable? Ils soumettent des sujets à un effort prolongé compris entre 47 et 84 % de la puissance maximale qu'ils sont capables de développer. Les mesures sont effectuées entre la 11° et 20 ° minutes d'une part et entre la 51° et 60° d'autre part. Leurs résultats confirment les résultats des Anglo Saxons. Le régime stable maximum représente les 2/3 de la consommation maximale d'oxygène.

La raison de ces divergences est à trouver dans les conditions d'expérience. C'est le fait de travailler en circuit fermé (alors que les expériences de DAMOISEAU ont été menées en circuit ouvert) qui fausse les résultats. Selon DEJOURS, les circuits fermés provoquent une diminution progressive du pourcentage d'oxygène inspiré ce qui a pour effet d'augmenter la ventilation.

Figure N° 4

Notons ici que toutes nos expériences se sont déroulées en circuit fermé d'où les difficultés que nous avons rencontrées lorsque nous avons voulu préciser en nous repérant aux paramètres respiratoires , dans quelle mesure tel sujet supportait encore ou ne supportait plus l'exercice. L'utilisation d'un appareil basé sur le principe du circuit fermé ne permet pas de situer avec précision le régime stable maximal .

Les paramètres respiratoires : Ventilation, consommation d'oxygène et élimination de gaz carbonique ont tendance à s'élever.Ce phénomène est plus nettement observé lorsque la puissance developpée est plus grande.

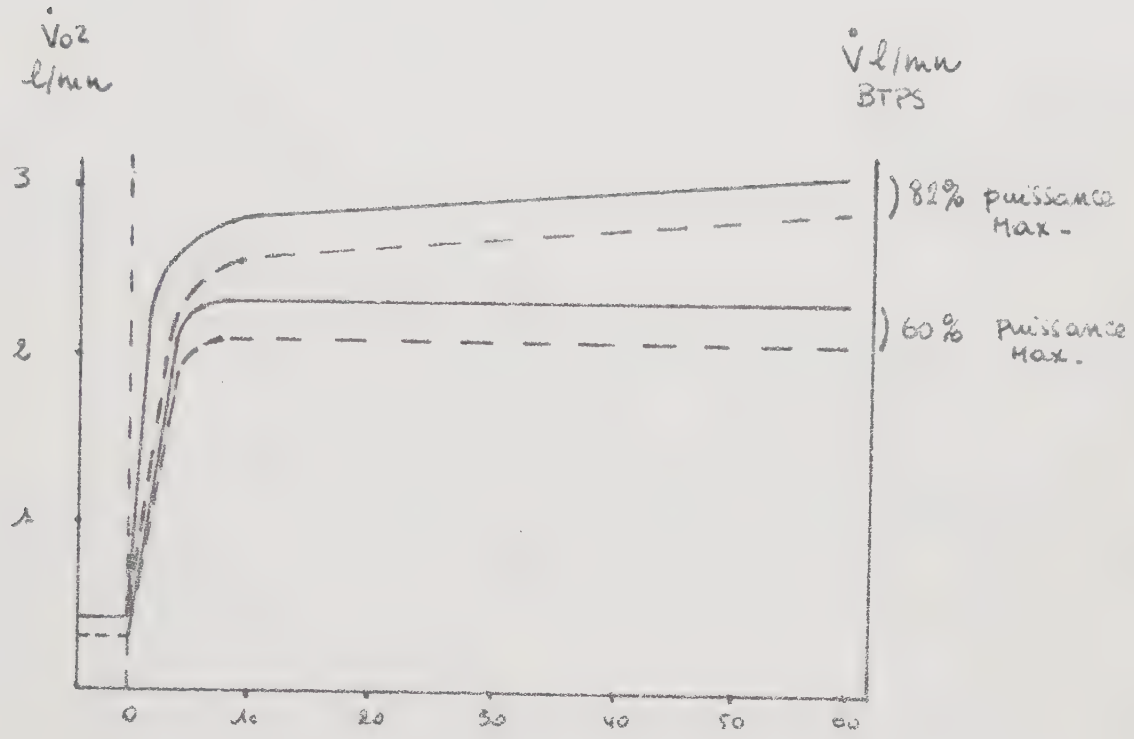


Fig 4 d'après DAMOISEAU.

à 60 % de la Puissance maximale = régime stable vrai

à 82 % augmentation de $\dot{V}$ et de $\dot{V}O^2$ = pas de régime stable.

1 - Les variations des paramètres respiratoires en fonction de la puissance.

Nous avons dit que les paramètres respiratoires s'élèvent au cours de la phase d'adaptation pour atteindre une valeur qui se stabilise ensuite. La valeur atteinte par chacun d'eux est fonction de la densité de l'exercice.

a) La ventilation qui dépend à la fois de la fréquence et de l'amplitude respiratoire est une fonction curviligne de la puissance developpée. FLEISCH - GALETTI 1959 (51) . Elle augmente donc avec la charge mais plus rapi rapidement aux puissances élevées.

b) La consommation d'oxygène est une fonction linéaire de la puissance

c) L'élimination de gaz carbonique évolue d'une manière intermédiaire. Aux charges faibles et modérées l'accroissement se fait linéairement en fonction de la puissance. Aux charges élévées la courbe se rapproche de celle de la ventilation.(Fig : 5) .

d) Le quotient respiratoire.

Avant d'aborder les variations de ce paramètre en fonction de la puissance fournie, il faut indiquer que lors d'un effort d'intensité constante le Q R décroît très progressivement si la durée de l'effort se prolonge.

A l'état d'équilibre, la R est d'autant plus élevé que l'effort est intense. Pratiquement, pour GALETTI (52) , le quotient respiratoire croît linéairement avec la charge. Le Q R égal à 1 serait atteint à une puissance de 211 watts

Pour certains auteurs, il existe une interdépendance entre sa valeur de repos et sa valeur à l'effort à l'état d'équilibre. L'augmentation serait moins importante lorsque sa valeur de repos est basse et inversement.

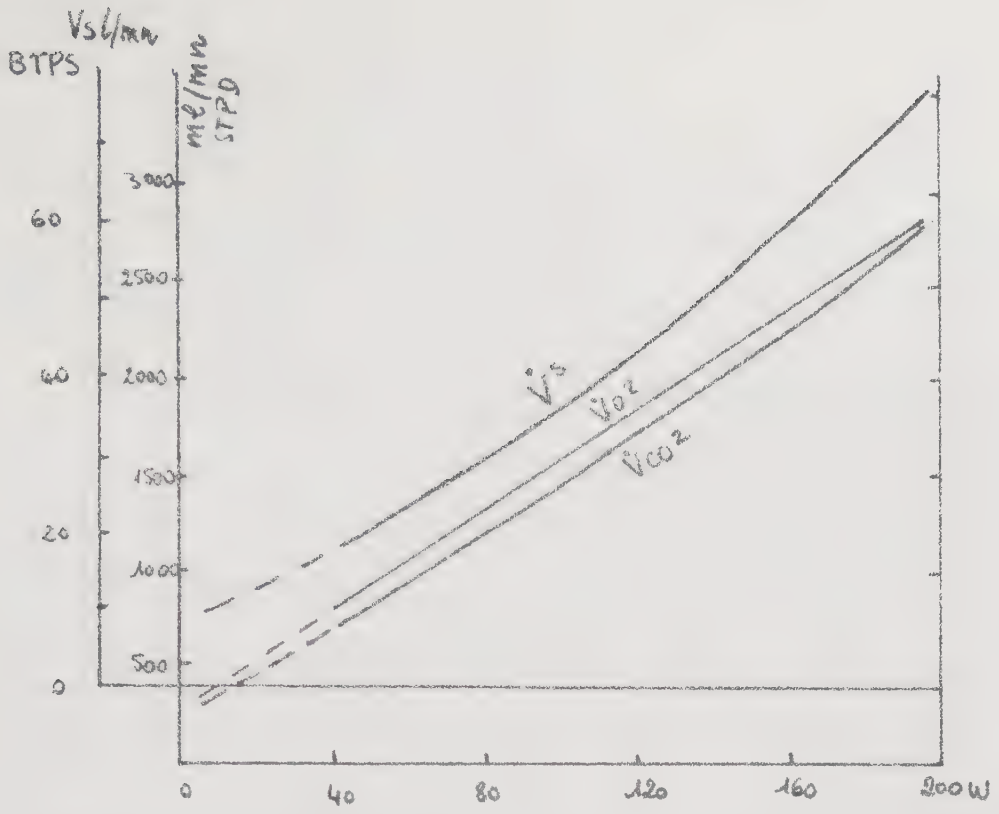


Figure 5 - D'après GALETTI.

Variations de la ventilation, de la consommation d'oxygène et de la production de gaz carbonique en fonction de la puissance fournie.

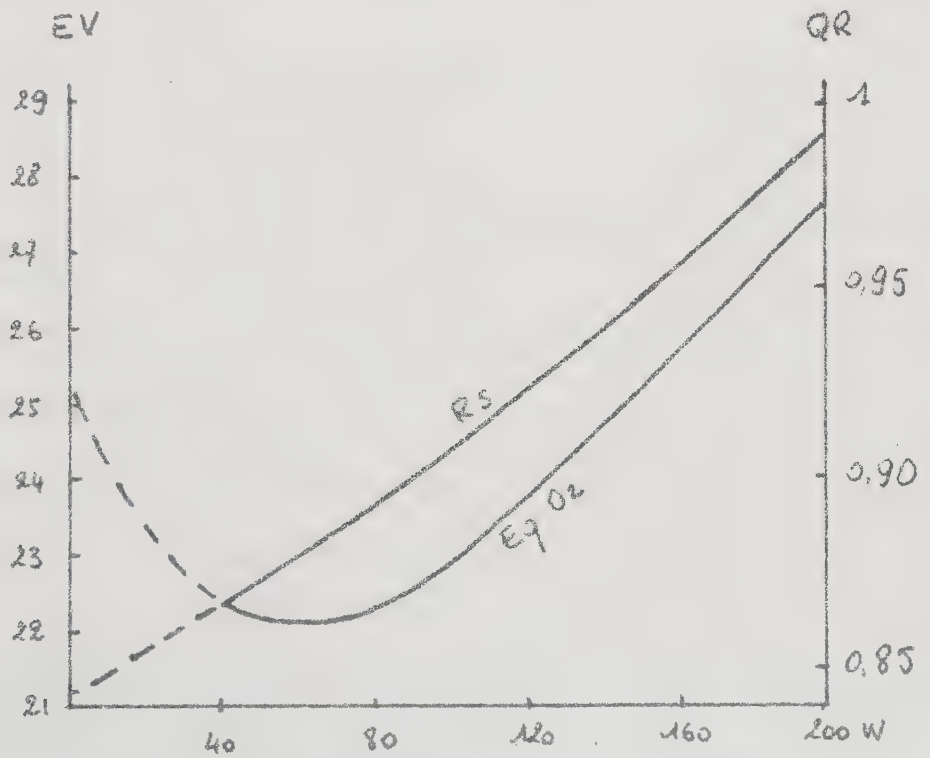


Figure 6 - D'après GALETTI.

Variations du quotient respiratoire et de l'équivalent ventilatoire pour l'oxygène en fonction de la puissance fournie.

e) L'équivalent respiratoire

Tout comme le quotient respiratoire, l'équivalent respiratoire n'est pas absolument constant pour un exercice d'intensité constante. Mais ici où relève une tendance à une hausse progressive en fonction de la durée.

Les variations observées en fonction de la puissance de l'effort sont les suivantes. Tout d'abord la courbe est descendante. Elle atteint un minimum que l'on peut situer à 60 watts à peu près. Ensuite elle remonte progressivement avec la puissance. Au total pour des puissances inférieures à 120 watts, la valeur de l'équivalent respiratoire se situe au dessous de sa valeur de repos. Fig N° 6.

2 - Les variations des paramètres respiratoires en fonction de l'entraînement.

Nous savons que l'entraînement a une influence certaine sur l'aptitude à l'effort physique qu'il augmente. Les résultats publiés par AEPLI (1) sont à cet égard très significatifs. Il obtient avec un groupe de sujets âgés de 51 à 55 ans bien entraînés et subissant des charges de 40 - 80 - 120 watts, des résultats meilleurs qu'avec un groupe plus jeune 41 - 50 ans et non entraîné.

Pour une puissance donnée, le niveau atteint par les différents paramètres respiratoires à l'état d'équilibre est moindre pour les sujets entraînés. Cette influence cependant est plus ou moins forte selon les paramètres. Très appréciable au niveau de la ventilation, elle l'est beaucoup moins au niveau de la consommation d'oxygène. Celle-ci mesure directement les combustions cellulaires et de ce fait dépend assez peu du choix du sujet et de son niveau d'entraînement.Pour une puissance donnée, sujets entraînés et sujets non entraînés consomment à peu près la même quantité d'oxygène.

Si la consommation d'oxygène est un moins bon critère que la ventilation pour apprécier l'aptitude à l'effort physique, il n'en est pas de même de la consommation maximale d'oxygène qui est accrue de manière appréciable par l'entraînement. Nous savons aussi que la consommation d'oxygène en régime stable maximal représente les 2/3 de la consommation maximale d'oxygène. Elle est donc également augmentée par l'entraînement.

D'après BOTTIN (12) les valeurs de consommation d'oxygène en régime stable maximal sont, chez les sujets entraînés de 26,5 % supérieures à celles mesurées chez les sujets normaux. Ce fait témoigne chez les sujets entraînés, d'une plus grande capacité de leurs muscles à se contracter en aérobiose. Cette propriété paraît elle même liée à une meilleure circulation sanguine dans les muscles.

L'influence de l'entraînement se fait également sentir au niveau des deux autres paramètres respiratoires étudiés. Selon DURAND (37) les sujets les plus aptes à l'effort physique ont un quotient respiratoire et un équivalent respiratoire de base inférieurs à ceux des sujets moins aptes. Par ailleurs l'augmentation de ces paramètres avec la puissance de l'effort se fait de façon plus précoce et plus rapide chez les sujets les moins aptes. Nous reproduisons aux figures N° 7, 8 et 9 les courbes obtenues par cet auteur. Nous retiendrons aussi de ce travail la méthode utilisée pour classer les sujets en fonction de leur aptitude , méthode basée sur la détermination de la puissance maximale supportée.

Les divers résultats que nous avons mentionnés montrent de façon indiscutable que la supériorité du sujet entraîné s'objective au niveau des paramètres respiratoires. La valeur de chacun de ceux-ci, considérés en tant que critère de la valeur physique d'un individu, est cependant inégale.

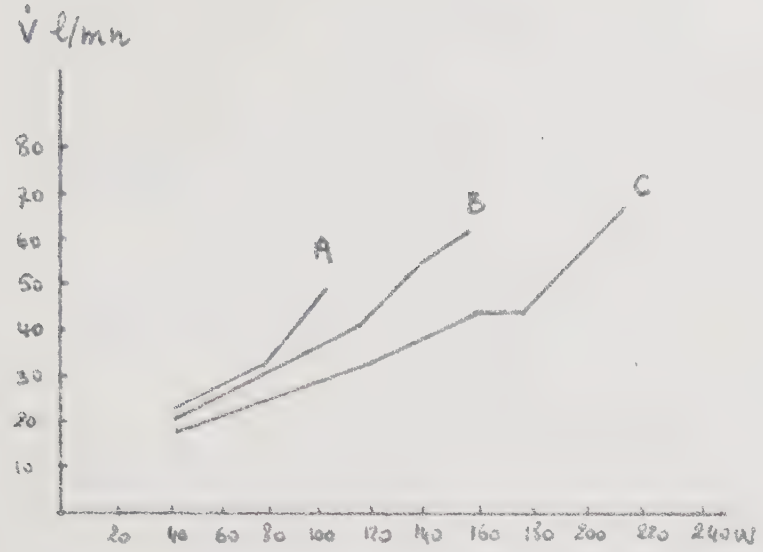


Figure 7

A - groupe le moins apte

C - groupe le plus apte à l'effort physique

D'après Durand

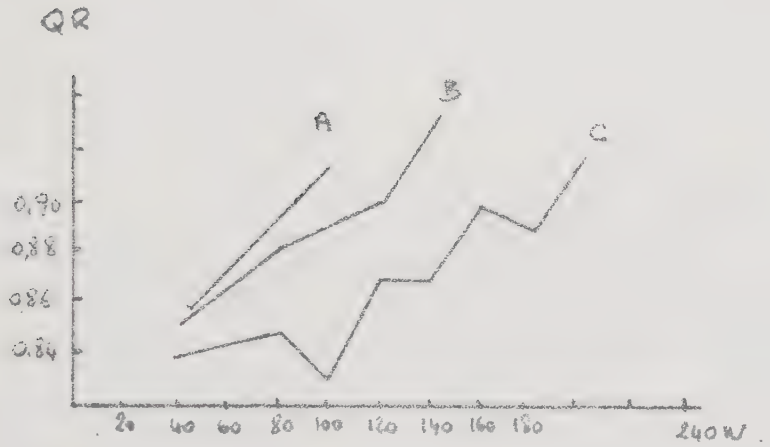


Figure 8

A - groupe le moins apte

C - groupe le plus apte à l'effort

D'après Durand

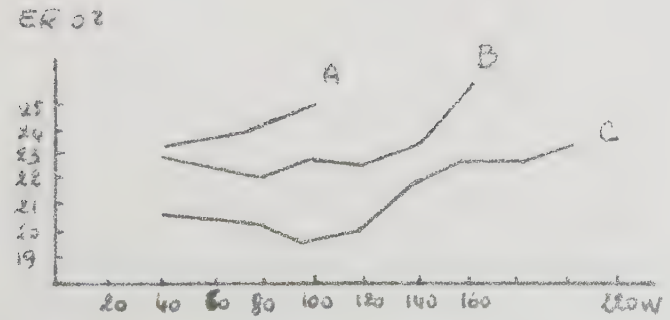


Figure 9

A - groupe le moins apte

C - groupe le plus apte à l'effort

D'après Durand

Les meilleurs sont ceux qui, pour une puissance donnée, fournissent des valeurs nettement différentes selon le sujet.Nous retiendrons le classement suivant par ordre de valeur décroissante : Ventilation. Equivalent respiratoire et enfin le quotient respiratoire.

La consommation d'oxygène qui varie essentiellement en fonction de la puissance est d''un intérêt moindre.

La détermination de la consommation maximale d'oxygène constitue une épreuve longue et difficilement utilisable.

Quoiqu'il en soit, la seule prise en considération des réactions de la fonction respiratoire est insuffisante pour juger de l'aptitude physique à l'effort. Tous ces tests doivent être regroupés dans un faisceau plus vaste de renseignements.

Terminons en signalant que ces épreuves sont des épreuves de laboratoire. Elles demandent un matériel considérable, beaucoup de temps et, de ce fait, ne sont pas utilisables dans la pratique courante où l'on aura recours à des épreuves plus simples.

Ch2 - CONDITIONS DE TRAVAIL EN HYPOXIE

Depuis une quarantaine d'années de nombreuses recherches ont été entreprises dans le but de trouver les moyens susceptibles d'augmenter la résistance à l'hypoxie. Les premières en date furent celles qui visaient l'amélioration des performances physiques et mentales des pilotes de l'air. Du fait des améliorations techniques(cabines pressurisées, masques d'oxygène) l'intérêt en est actuellement diminué quoiqu'un accident puisse toujours survenir. Il peut alors être vital que les navigants résistent à une forte hypoxie.

La résistance à l'hypoxie est aussi un problème médical d'une grande importance puisque l'hypoxie est associée à de nombreuses maladies, celles en particulier qui touchent le coeur, la circulation, les poumons. Les recherches se sont orientées dans des domaines différents tels que mise au point de produits chimiques, de procédés mécaniques, investigation d'ordre diététique. Les solutions apportées, qu'il n'est pas dans notre propos d'aborder, sont plus ou moins efficaces. Certaines ne sont pas sans danger.

Mais ce problème, actuellement, n'est plus seulement d'ordre professionnel ou médical. Les progrès techniques, surtout dans le domaine de la locomotion, certaines activités sociales et tout particulièrement les activités sportives, peuvent amener un grand nombre d'individus à vivre et à exercer une activité en altitude du jour au lendemain.

Les derniers jeux olympiques de Mexico ont justement été l'occasion de recherches intéressantes en ce qui concerne l'adaptation à l'hypoxie.

Elles ont révélé que celle-ci n'est pas instantanée. Pour qu'elle soit complète il faut un délai estimé généralement à trois semaines. Elle n'est pas non plus continue. Les trois ou quatre premiers jours mal supportés sont suivis d'une phase de stabilisation, puis surviennent du 9° au 12° jour une phase de régression, la " crise climatique " et enfin, au bout de 21 jours, la stabilisation définitive. Elle est variable dans sa durée selon les individus.Pour certains, la stabilisation définitive est obtenue au bout d'une dizaine de jours. Ce sont les sujets les mieux entraînés physiquement qui s'adaptent le plus rapidement.

Le niveau de l'adaptation est jugé sur certains critères. Les paramètres respiratoires, tant au repos qu'à l'effort ont fait l'objet, chez l'homme,d'études plus nombreuses que la glycémie.

Les paramètres respiratoires à l'état de repos en hypoxie.

Chez l'homme sain, et selon COMROE,(22) les récepteurs à l'oxygène sont assez peu sensibles à une diminution de pourcentage d'oxygène inspiré. Une réponse franche n'est obtenue qu'avec des pourcentages de l'ordre de 8-6-4 % . Certains auteurs tels que FELICIANO, LAVAL (41) réalisent ces conditions en faisant respirer des sujets, au repos, dans une atmosphère progressivement appauvrie en oxygène par non renouvellement en gaz consommé. Ils observent une hyperventilation à"l'instant d'hypoxie maximale"

La plupart des expériences font état d'un pourcentage constant d'oxygène inspiré. CRONIN(24) expérimentant sur des sujets non acclimatés à un pourcentage de 11 % d'oxygène inspiré étudie la consommation d'oxygène.

Les chiffres fournis révèlent soit une hausse, soit une baisse légère selon les sujets. Certains présentent d'ailleurs les deux types de variations au cours d'exercices différents.

MARTIN- LALANDE (83) étudiant l'acclimatation à une altitude de 3.600 mètres sur un groupe de 7 sujets montrent :

1 - Que la consommation d'oxygène au repos subit une augmentation progressive. Elle est évaluée à 14,3 %, par rapport aux valeurs des premiers jours, au bout de trois semaines.

2 - Que la ventilation pendant le même temps s'accroît de 29,4 %.

3 - Que " l'utilisation du travail respiratoire en fonction du volume d'oxygène effectivement retenu dans les poumons est moins bonne qu'en altitude de plaine". L'équivalent respiratoire subit donc une élévation importante. Sa valeur de 21,2 en début de séjour passe à 30 et même 40 lors de la crise climatique pour se stabiliser finalement à 24.

Les paramètres respiratoires à l'effort en hypoxie.

Les expériences faites sur des sujets non acclimatés peuvent être menées de plusieurs manières. Le plus souvent, dans une première épreuve, le sujet produit un effort en normoxie et le reproduit dans une deuxième épreuve réalisée en athmosphère hypoxique. Dans le laboratoire de Monsieur DUBOIS DE MONTREYNAUD un protocole différent fut expérimenté par TRUCHET sur 124 sujets (107). L'effort, après une période de repos de 10 minutes débute en normoxie. Il est poursuivi sans interruption en hypoxie (16 % d'oxygène inspiré) pendant 7 minutes. On apprécie les modifications survenant au niveau des paramètres respiratoires enregistrés.La ventilation est augmentée dans 97% des cas.

Par contre l'élimination du gaz carbonique, la consommation d'oxygène ne subissent pas toujours une hausse.

La référence à des auteurs qui ont utilisé un pourcentage inférieur d'oxygène inspiré (11 % pour CRONIN (24) indique une baisse de la consommation d'oxygène par rapport aux conditions de normoxie. MARTIN-LALANDE (83) proposent des résultats analogues, de même BENGT SALTIN qui constate qu'à une altitude de 2.250 mètres le prélèvement maximal d'oxygène est diminué. L'affaiblissement de la consommation d'oxygène en hypoxie est d'autant plus net que l'exercice est intense. Notons que les efforts demandés par TRUCHET (107) ne dépassent jamais la puissance de 100 watts.

C'est là un phénomène assez surprenant puisque la consommation d'oxygène représente la dépense énergétique de l'organisme au cours de l'effort. Elle devrait théoriquement être la même en normoxie et en hypoxie. L'explication de ce phénomène n'est pas connue. Diverses hypothèses formulées ne tiennent pas devant les faits.

1 - Certains ont pensé que les processus anaérobies se substituaient pour une part aux processus aérobies. CRONIN (24) rejette cette hypothèse en constatant que l'augmentation de la dette d'oxygène par rapport aux conditions de normoxie est insuffisante pour l'accréditer.

2 - L'hypoxie peut-elle retarder l'établissement de l'état d'équilibre? L'épreuve prolongée pour certains sujets ne révèle pas d'augmentation signative de la consommation d'oxygène dans les mesures plus tardives

L'élimination du gaz carbonique, du fait de l'hyperventilation est augmentée. Il en est donc de même pour le quotient respiratoire et l'équivalent respiratoire.

Au cours de l'acclimatement la consommation d'oxygène augmente progressivement. BENGT SALTIN constate le fait sur 7 des 9 sportifs qu'il a étudiés. Toutefois cette hausse ne permet pas, en trois semaines, d'atteindre les valeurs observées au niveau de la mer. Le rapport du professeur MARTINEAUD (Octobre 1966) (84) arrive à des conclusions plus favorables. "Il n'a pas été mis en évidence de modifications des constantes ventilatoires et métaboliques au cours d'un séjour en altitude après un acclimatement long". Il est vrai que le séjour était de 4 semaines et que les tests portaient sur un effort moins intense.

Les variations de la glycémie à l'hypoxie.

Nous serons très brefs sur ce chapitre. En effet, si les auteurs sont actuellement presqu'unanimes pour reconnaître que l'hypoxie entraîne une hyperglycémie, il n'en demeure pas moins de nombreux points de controverse. Les résultats parfois divergents tiennent au degré et à la durée de l'hypoxie imposée, à l'espèce animale choisie pour l'expérimentation. Car c'est surtout sur l'animal que cette étude a été faite et il n'est pas prouvé que les résultats formulés soient transposables à l'homme.

Par ailleurs nous n'avons pas trouvé de documentation sur les variations de la glycémie à l'effort en hypoxie, aussi bien pour les sujets normaux que pour les sujets entraînés. Problème que nous nous proposons d'aborder.

Ch 3 : VARIATIONS DE LA GLYCEMIE AU COURS DE L'EFFORT MUSCULAIRE EN NORMOXIE. SANS SURCHARGE DE GLUCOSE

L'importance du glucose dans le métabolisme énergétique est connue depuis longtemps. Un homme de 60 kg, en repos relatif consomme 12 à 15 grammes de glucose à l'heure. Cette consommation est augmentée pendant l'effort musculaire. L'organisme doit puiser dans les réserves qui se répartissent de la manière suivante :

1°) Au niveau des liquides extra cellulaires. Cette réserve en glucose libre est évaluée à 15 grammes pour un sujet de 60 kg. C'est dire qu'elle doit être constamment renouvelée car les cellules cérébrales ne supportent pas longtemps une chute de la glycémie. Avec la technique que nous utilisons les valeurs normales de la glycémie sont de 0,85 $\pm$ 0,10 gramme par litre.

2°) Au niveau du foie où le glucose est stocké sous forme de glycogène. Grâce à la richesse de son équipement enzymatique le foie peut constituer cette réserve à partir de différentes sources : Glucose, galactose, fructose, acides aminés et acides gras libres.

Au fur et à mesure des besoins de l'organisme en glucose, le glycogène est dépolymérisé sous l'action des catecholamines et du glucagon qui induisent une synthèse d'A M P 3'5' cyclique intracellulaire activant les phosphorylases et permettant le passage de glucose dans la circulation. Le rôle du foie dans la régulation énergétique est donc capital puisque c'est avant tout à la secrétion hépatique de glucose que l'on doit de conserver un fonctionnement cellulaire satisfaisant. LESTRADET (77)

3°)Au niveau des cellules musculaires.

La réserve de glucose, sous forme de glycogène, est évaluée à 250 grammes. Elle ne représente que 1% de la masse musculaire. La seule source de glycogène musculaire est le glucose sanguin phosphorylé par l'hexokinase musculaire; il n'existe pratiquement pas de néoglycogène dans la muscle. Le glycogène musculaire ne peut qu'être consommé sur place, après transformation de glucose sous l'action de l'adrénaline, à l'intérieur même de la cellule musculaire. A l'inverse de la réserve hépatique, la réserve musculaire ne peut servir comme on le pensait autrefois, à colmater une éventuelle hypoglycémie.

Au total, les réserves de l'organisme en glucose ne représentent qu'un faible volant de sécurité. Malgré de brusques modifications d'apport ou de consommation le taux de glucose sanguin ne subit que de faibles variations au cours de la journée chez l'homme normal.Selon CONRAD(23) " l'augmentation de la glycémie oriente la chaîne des réactions métaboliques dans le sens des synthèses et des stockages, la réduction de la glycémie par utilisation augmentée provoque au contraire une désassimilation."

Nous avons souligné le rôle du foie dans ce mécanisme primaire mais il n'est pas le seul. " Il est important de mettre à leur place respective, non seulement le foie, mais encore les centres régulateurs hypothalamiques, les relais hypophysaires et réticulés, les interactions des glandes endocrines, sans oublier le rôle du système vasculaire".LESTRADET(77)

Les hormones responsables de l'équilibre glycémique agissent à tous les niveaux : modification de la consommation au niveau musculaire, variation de l'assimilation au niveau digestif, orientation du bilan hépatique

action sur les réserves lipidiques périphériques ou sur l'anabolisme ou le catabolisme protéique. CONARD (23) Trois types d'hormones peuvent être caractérisées:

1) hormone de synthèse : l'insuline.

2) hormones de la glycogénolyse : adrénaline. Glucagon.

3) hormones de la néoglycogénèse : hormones cortico surrénales et antehypophysaires.

- les centres hypothobamiques assurent :

- le réglage de la prise alimentaire

- le contrôle, par l'intermédiaire de "médiateurs", de l'antehypophyse, laquelle lance dans la circulation différentes hormones: les trophines hypophysaires.

- Le système orthosympathique agit par la noradrélanine et l'adrénaline sur les dépôts graisseux au cours des agressions ou de l'effort musculaire. Cette question sera abordée dans un chapitre suivant.

Au cours de l'effort la cellule musculaire, nous l'avons vu, consomme sur place ses propres réserves et puise dans le sang pour les reconstituer. Mais il semble, si l'on se rapporte aux conclusions de CHAUVEAU, que le stock musculaire n'est pas reconstitué instantanément. Le muscle, pendant une période assez courte vit sur ses propres réserves.

Les expériences de SANDERS - LEVINSON - ABELMANN & FREINKEL, rapportées par MAGORIGH (82) confirment cette hypothèse. Des mesures de la glycémie artérielle et veineuse furent faites par ces auteurs avant, pendant et après l'effort. L'augmentation légère de la consommation de glucose tend à démontrer que c'est surtout le glycogène musculaire qui fait les frais du travail physique.

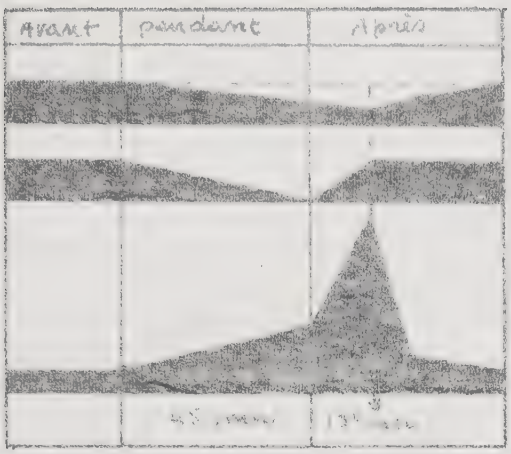
Le stock semble se reconstituer à la fin de l'épreuve au détriment de la réserve sanguine. Ces expériences permettent, en outre, de mettre en évidence une certaine solidarité entre les diverses parties du corps. Les membres supérieurs au repos réduisent leur propre consommation au bénéfice vraisemblable de la partie corporelle active. Fig N° 10

Qu'il se produise au moment même de l'effort ou avec un certain décalage, le déficit sanguin est colmaté par le foie selon les mécanismes que nous avons évoqués précédemment. Mais il existe une autre voie d'apport: La voie alimentaire. Déjà en 1924-5 LEVINE & GORDON montraient que les coureurs de marathon supportaient mieux l'épreuve s'ils s'alimentaient en cours de route. Les Russes affirment que l'alimentation en cours de trajet répond à un double but :-compléter les sources d'énergie dans l'organisme.

-stimuler l'utilisation des ressources déjà existantes.

" L'irritation des récepteurs du goût dans la cavité bucale et des hémorécepteurs stomaco-intestinaux par les produits alimentaires(en particulier le sucre) renforcent la mobilisation des hydrates dans le foie, qui s'épuisent à mesure de la croissance de la fatigue". TAROUCHKINA 1958, cité par KOROBKOW (64)

Actuellement, bien des sportifs consomment du sucre au cours de l'effort quelle que soit la nature de celui-ci. Or les études faites à ce sujet révèlent que cette pratique, justifiée parfois, est souvent contestable. Nous nous proposons d'en reparler.



D'après Sport et diabète de LESTRADET & BILLAUD - Figure 10

Ce que nous avons dit précédemment laisse entrevoir qu'il existe plusieurs possibilités pour aborder l'étude de la régulation glycémique.

- L'intérêt théorique de la mesure de consommation du glucose au niveau du muscle est indiscutable. Malheureusement la réalisation pratique en est délicate, traumatisante et il est difficile de la proposer même à des sujets de bonne volonté.

- Les méthodes visant à doser le glycogène hépatique ou musculaire ne peuvent être pratiquées que chez l'animal.

- En fait, c'est par le dosage de la glycémie que la question a été le plus souvent abordée. La littérature est riche en relations de ce type d'expériances, mais les résultats publiés, à l'inverse de ceux qui ont trait aux paramétres respiratoires, sont très souvent disparates pour ne pas dire discordants.

- CHAILLEY-BERT & PLAS (16) CHRISTENSEN (20) voient là l'effet de la méthode utilisée.

" Les chercheurs ont dosé la glycémie après le travail, admettant qu'elle est la même pendant le travail et immédiatement après". On est,bien entendu, revenu de cette erreur, cependant les dosages de la glycémie par prélèvements répétés au cours du travail musculaire n'ont guère atténué les divergences.

Nous ne reprendrons pas l'historique de la question. MOULINIER,(87) dans sa thèse, en dresse un auquel il est aisé de se reporter. Nous nous bornerons à mentionner les études rapportées dans l'ouvrage de IAKOVLEV et KOROBKOV (64) Il nous paraît plus intéressant, par contre , de dresser un inventaire des différents critères qui ont présidé au choix des exercices. Une grande distinction semble devoir être faite entre les exercices de laboratoire d'une part et les exercices sportifs réels d'autre part. Encore que certaines formes d'entraînement s'apparentent étroitement aux exercices pratiqués en laboratoire.

En laboratoire, il est fait appel à des exercices tels que flexions sur les jambes, mouvements de rameurs sur machine conçue à cet effet et surtout pédalage sur bicyclette ergométrique. Leur avantage indiscutable réside dans la possibilité de connaître exactement la quantité de travail fourni, leur inconvénient majeur dans leur monotonie.

Dans les deux catégories les exercices se caractérisent par les notions de durée et d'intensité qui sont souvent dépendantes l'une de l'autre. Si ces deux notions ont une grande importance sur le plan des résultats, il ost d'autres facteurs qui peuvent jouer aussi un grand rôle.

Nous distinguerons :

- 1) Ceux qui dépendent du sujet. Son tempérament, son état de santé au moment du test, le régime alimentaire dans les jours qui précèdent,

le fait d'être à jeun ou non. Le degré d'entraînement physique et la nature de cet entraînement ... etc.

- 2) Ceux qui tiennent aux conditions extérieures: climat, altitude, température ambiante, degré hygrométrique ... etc.

On voit aisément combien peut-être difficile l'interprétation des résultats, et combien les investigations faites en laboratoire où les conditions tendent à être standardisées sont limitatives.

Nous distinguerons dans l'étude des variations de la glycémie à l'effort trois périodes : Avant, pendant et après l'effort.

A - La période préparatoire à l'effort.

Tous les auteurs, pratiquement, ont mesuré la glycémie avant l'effort pour en faire une valeur de référence qui permettra d'apprécier les variations observées durant le travail musculaire. Certains d'entre eux se sont demandé quelle influence l'entraînement avait sur la glycémie de base pour des sujets du même âge (puisqu'elle augmente avec l'âge). Pour ROUGIER & BABIN (10), la glycémie est abaissée chez les sujets entraînés. C'est l'inverse qui est constaté par H.CHOISY, J.M. DUBOIS DE MONTREYNAUD, et collaborateurs (18).

En fait, la question nous paraît mal posée. A partir du moment où le sujet s'apprête à subir une double épreuve (piqûre d'abord, effort physique ensuite) on peut dire qu'il est déjà dans une situation inhabituelle Déjà des modifications biochimiques s'opèrent en lui.

Celles-ci ont été particulièrement étudiées par les entraîneurs et physiologistes soviétiques. De leurs travaux, il ressort que ces modifications sontfonction :

1 - Du tempérament du sujet. Selon LECHKEVITCH(64) il faut distinguer :

- Les sujets chez qui prédominent les processus d'excitation et pour qui l'on note une augmentation de la glycémie avant l'effort.

- A l'opposé, les sujets à processus prédominants de freinage et qui accusent une baisse glycémique.

- Enfin les sujets dits équilibrés qui augmentent peu leur taux de glucose sanguin ou même le conservent stable.

2 - De la nature de l'effort à fournir.

Le sujet réagit en fonction de l'intérêt qu'il porte au travail qui lui sera demandé, effort sportif et exercice de laboratoire sont à cet égard bien différents.

Chez les sportifs, avant les compétitions ou si l'on veut en état de pré-départ, une augmentation de la glycémie est observée. A condition qu'elle reste dans certaines limites, cette augmentation est considérée par IAKOLEV & KOROBKOV (64) comme élément favorable. Elle est plus accusée avant une compétition qu'avant un séance d'entraînement, plus nette chez les sportifs émérites que chez les novices, plus ou moins importante, enfin, selon les spécialités sportives. LECHKEVITCH rapporte que la plus forte augmentation du glucose sanguin en état de pré-départ est enregistrée chez les joueurs de basket, puis de foot-ball... Ce sont les skieurs de fond qui accusent les plus faibles variations.

Il ne nous est pas possible d'affirmer que ces constatations faites à propos de sportifs abordant des compétitions auxquelles ils sont habitués seraient valables s'ils avaient dû affronter un autre type d'épreuve, nouvelle pour eux(épreuves de laboratoire par exemple). Toutefois nous pensons que c'est par trop simplifier la problème que d'affirmer : l'entraînement augmente ou abaisse la glycémie de base. Des modifications se produisent dans l'organisme avant l'effort. L'entraînement y joue sans doute un rôle mais les facteurs d'ordre psychique sont certainement déterminants.

B - La période d'effort

Quel que soit le type d'exercice exécuté il paraît nécessaire de distinguer entre :

- efforts courts et intenses, ne durant que quelques secondes ou minutes.
- efforts d'intensité et de durée moyenne n'excédant pas 1heure 30
- efforts prolongés, pouvant amener l'épuisement.

Il s'agit là d'une classification très fréquemment rencontrée, encore que les limites entre les différents types d'exercices soient très difficiles à préciser. Pour CHRISTENSEN, par exemple (19) des efforts de 30 minutes sont à ranger dans la première catégorie. Si l'on fait référence aux efforts brefs rencontrés dans le domaine du sport (courses de 100m - 400 m . Efforts en haltérophilie - gymnastique aux agrès ...) on ne saurait considérer un effort de 30 minutes comme effort court et intense.

1 - Efforts courts et intenses.

Les variations glycémiques y sont de très faible amplitude. Elles peuvent être soit positives, soit négatives.

ROUGIER & BABIN (101) ont constaté, alors que la même somme de travail était fournie:

- une baisse dans les épreuves de pédalage.
- une élévation dans les épreuves sur tapis roulant.

La nature de l'effort intervient donc sur le sens des variations glycémiques. Tableau N° 1.

Malgrè les faibles variations observées, les efforts de ce type entraînent de grandes mutations au niveau de l'organisme. " Compte tenu de ce que, lors d'un effort intense mais court, la mobilisation des hydrates dans le foie ne peut s'opérer de façon satisfaisante, l'organisme dépense surtout les réserves musculaires en glycogène. Cet effort appelle également des mutations biochimiques dans les parties corticales et durant un certain temps des changements biochimiques notables dans tout l'organisme. IAKOVLEV & TAVASSTCHERNA. (64)

Indiquons ici, que l'étude des modifications biochimiques qui persistent un certain temps dans tout l'organisme a permis à ces auteurs de formuler certaines règles relatives à l'entraînement sportif. En particulier des règles concernant la répartition des séances d'entraînement dans le temps, et leur contenu.

Nature de l'effort	G Début	G Fin	Amplitude et sens des variations						
			+20 +30	+10 +20	0 +10	0	0 -10	-10 -20	-20 -30
Ergocycle	0,985	0,950	0	2	6	2	6	2	1
Tapis roulant	1,01	1,06	0	2	5	0	3	0	0

Tableau N° 1 d'après ROUGIER & BABIN - Efforts brefs

Sur 31 sujets, 24 ont des variations inférieures à 10 cg

2 - Efforts de durée et d'intensité moyennes.

Par rapport aux précédentes, les variations glycémiques observées présentent une amplitude supérieure. Elles se font encore soit dans le sens positif soit dans le sens négatif à quantité de travail égal . Il semble qu'ici encore on puisse expliquer ce phénomène par la nature de l'effort. L'exercice musculaire provoque le plus souvent une baisse glycémique, à l'inverse l'exercice saturé en composante émotionnelle tend à augmenter le taux de glucose sanguin. Nous retrouvons chez de nombreux auteurs des résultats qui peuvent confirmer cette hypothèse.

ROUGIER-BABIN (101)

- Pour un groupe de 23 sujets pédalant sur ergocycle la glycémie moyenne passe de 0,98 à 0,87.

- Pour un groupe de 19 sujets courant sur tapis roulant(exercice qui demande beaucoup plus d'attention et de vigilance) la moyenne glycémique passe de 0,97 à 1,03.

Messieurs CHOISY- DUBOIS de MONTREYNAUD (18) constatent que sur un groupe de 9 sujets non entraînés 5 abaissent leur glycémie dans un exercice de pédalage.

Pour LECHKEVITCH, à égalité d'effort, on découvre des modifications biochimiques différentes dans le sang du sportif suivant que l'exercice est exécuté de façon ennuyeuse ou non. Dans le second cas les modifications survenues sont de beaucoup plus favorables à l'entraînement.

Ces résultats entraînent certaines conséquences sur le plan de la pratique de l'entraînement. (cadre agréable, rapports entre entraîneurs et sportifs, introduction de l'élément compétition, variété du travail et aussi fragmentation des efforts qui tout en retardant la lassitude psychologique permet d'obtenir des mutations biochimiques plus poussées de l'organisme.)

L'augmentation de la glycémie, qui est la règle dans les efforts sportifs de cette catégorie révèle que l'habitude de consommer du sucre en cours d'épreuve ne répond pas à une nécessité de l'organisme.

Allure des courbes.

Nous avons jusqu'ici comparé la glycémie de fin d'effort, à la glycémie de départ. En fait, des variations ont lieu tout au long du travail musculaire. CHRISTENSEN (19) qui pratiquait des dosages fréquents durant l'exercice fut un des premiers à se préoccuper du problème. La courbe type qu'il a présentée se caractérise de la manière suivante.

- 1) Dans la première partie de l'effort(25-30 premières minutes) on note une baisse progressive.

-2) Dans la seconde partie, une remontée de la courbe qui dans certains cas peut retrouver et même dépasser la valeur de départ. Fig N° 11.

Messieurs CHOISY & DUBOIS de MONTREYNAUD (18) en réalisant l'enregistrement continu de la glycémie ont été frappés par la grande variété des types de réponses obtenues. Peut-être est-il possible de dégager une tendance générale en établissant, à partir des valeurs obtenues, des courbes moyennes.Nous développerons plus loin cette question dans l'exposé des travaux que nous avons effectués.

- L'influence de l'entraînement sur les variations glycémiques.

Messieurs CHOISY & DUBOIS DE MONTREYNAUD (18) constatent que dans un groupe de sujets entraînés on obtient :

- 1) un plus grand pourcentage de courbes ascendantes.

- 2) des courbes plus régulières que celles qui sont fournies par des sujets non entraînés.

- 3) une amplitude des variations observées sensiblement égale à celle des sujets non entraînés.

ROUGIER-BABIN (101), dont les expériences ont porté sur un plus grand nombre de sujets, arrivent à la conclusion que les variations glycémiques sont"beaucoup plus aplaties chez les individus entraînés". La cause résiderait dans "l'augmentation de la charge glycogénique des muscles,réaction adaptative qui rend les sujets entraînés plus capables de faire face, sans perturber l'homéostasie, aux besoins métaboliques augmentés".

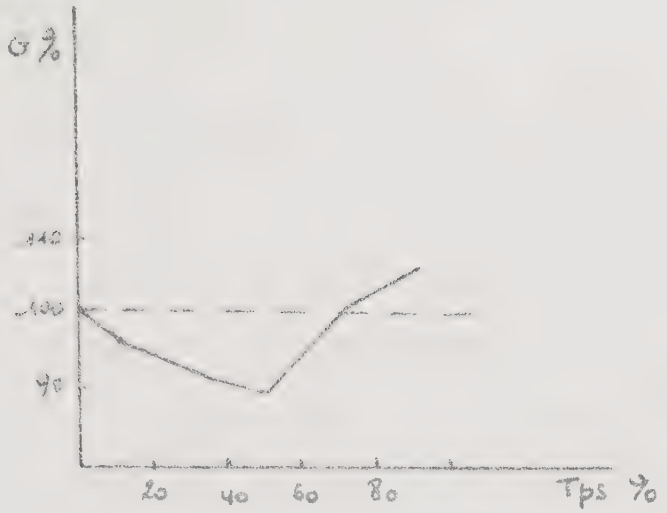


Figure 11 - D'après CHRISTENSEN

- variations moyennes - sur 30 minutes - des variations glycémiques obtenues pour 1 sujet.
- La glycémie est indiquée en pourcentage de la valeur de départ.
- Le temps en pourcentage de la durée de l'exercice.

Il est d'autres questions sur lesquelles certains auteurs ont centré leurs recherches.

- La réponse glycémique serait-elle, à l'image des variations des paramètres respiratoires, fonction de l'intensité de l'effort? CHRISTENSEN, en 1930 (19) apportait déjà une réponse négative à cette question.

Il semble qu'à présent la majorité des auteurs soit d'accord sur ce point.

Existe-t-il une relation entre la glycémie de départ et ses variations durant l'effort. CHAVIALLE & PEYCELON (17) indiquent que les variations de la glycémie sont d'autant plus accentuées que les valeurs initiales s'écartent davatage de la normale qu'ils situent entre 0,90 et 1g par litre. Leurs expériences ayant porté sur un nombre très limité de sujets, les dosages ayant été effectués seulement avant et après l'effort, il est difficile d'accorder à leurs conclusions une très grande valeur. Pour CHRISTENSEN, à qui il est souvent fait référence, ce type de relation est très peu vraisemblable. Peu vraisemblable également la relation, mentionnée par certains, entre le degré de fatigue et le niveau glycémique au moment de l'arrêt de l'effort.

- 3) Efforts de longue durée pouvant aller jusqu'à l'épuisement.

Si ce type d'effort est fréquent dans le domaine sportif (marathon, courses à bicyclettes, épreuves de natation, de ski ...), la réalisation en est difficile en laboratoire. Bien des sujets abandonnent l'épreuve avant d'être épuisés. Ainsi les résultats publiés portent toujours sur un nombre limité de sujets. Ce sont cependant les seuls qui soient concordants:

- l'amplitude des variations est accrue.
- elles se font toujours dans le sens négatif.

Et ceci quel que soit le type d'effort (sportif ou en laboratoire) Ce n'est plus la nature de l'effort qui détermine le sens des variations mais la quantité du travail fourni.

La course sur tapis roulant, hyperglycémiante dans les efforts plus courts, devient plus hypoglycémiante que l'effort de pédalage.Tableau N° 2.

Nature du travail	G [illegible]	[illegible]	65'	90'	110'	repos
Ergostat 6 sujets	0,93	0,87	0,86	0,84	0,78	0,76
[illegible] 3 sujets	0,90	0,85	0,84	0,83	0,74	0,62

Tableau N° 2 - D'après ROUGIER

Variations de la glycémie dans les efforts de longue durée: D'après ROUGIER.

L'intervention moindre des facteurs psychologiques dans les épreuves de longue durée est soulignée depuis longtemps. CHRISTENSEN (19) demandait à ses sujets un effort de même intensité poursuivi plus ou moins longtemps. La remontée de la courbe caractéristique des efforts de durée moyenne, ne se produit plus lorsque l'exercice est prolongé. L'absence de remontée en fin d'épreuve est interprétée de la manière suivante: " Le facteur psychique que nous avons cité pour expliquer la montée dans la dernière phase de travail des essais de courte durée ... a certainement été aussi important dans l'essai de longue durée ... La vive excitation qui provoque, vraisemblablement la proximité de la fin du travail ne suffit pas à pallier la chute de la réserve de glycogène du foie ".

Pour les auteurs soviétiques, les facteurs psychiques conservent malgré tout une influence appréciable.

Remarquons, pour terminer, que la baisse glycémique, de règle dans les épreuves de longue durée, justifie la consommation de sucre en cours d'épreuve. C'est d'ailleurs un fait établi que le sujet épuisé consommant du sucre peut poursuivre son effort plus longtemps. Pour GOVAERTS (1948) " Le glucose absorbé en plein effort n'agit pas sur le métabolisme musculaire: l'effet de l'ingestion est trop rapide pour qu'on puisse admettre que le muscle ait le temps de reconstituer ses réserves glucidiques. Il s'agit d'une intervention sur le système nerveux, une teneur minimale de glucose étant nécessaire à l'integrité des fonctions nerveuses ".

C - LA PERIODE DE RECUPERATION

L'évolution de la glycémie après l'effort montre, si l'on en croit CHAVIALLE & PEYCELON (17) des variations qui peuvent persister 24 heures et plus. Il est évident, dans ces conditions, qu'une telle étude n'est pas facile à mener. Rares sont les auteurs qui poursuivent les investigations plus d'une heure après l'arrêt de l'effort.

Certains tels que BRUNSGAARD, pensent que la durée du retour à la normale est fonction, soit de la durée de l'effort lui-même, soit, ce qui revient au même, de l'importance de l'affaiblissement des réserves de sucre dans l'organisme

L'allure de la courbe, après l'arrêt de l'effort, semble pouvoir se définir par une suite d'oscillations dont l'amplitude va s'atténuant progressivement.Les travaux de J.M. MELON (86) et collaborateurs nous paraissent à cet égard très significatifs. Ils portent sur des sujets âgés répartis en deux groupes : avant 50 ans et de 50 à 60 ans. Si les courbes présentent quelques particularités selon les groupes d'âge, elles mettent toutes ce caractère en évidence. Figure N° 12.

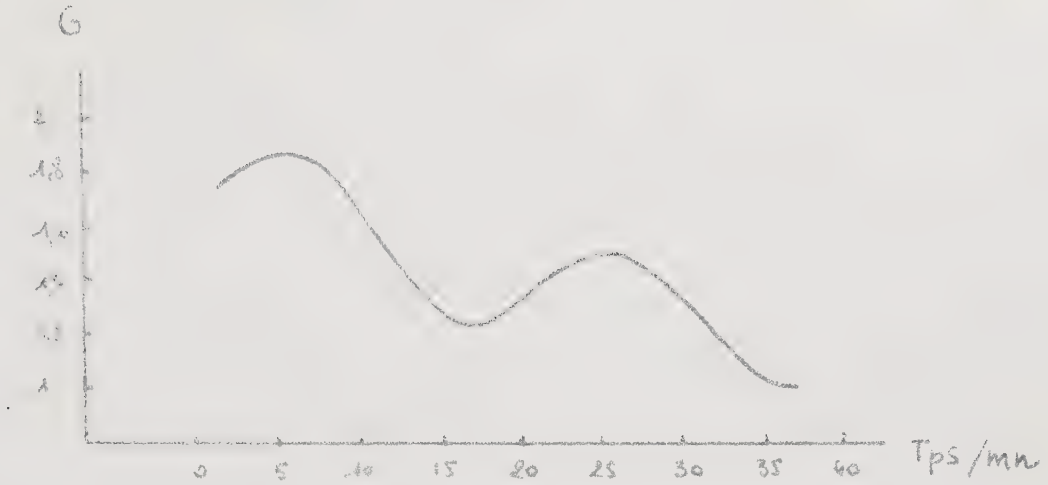


Figure 12 - D'après MELON

Courbe de récupération - Variation de la glycémie après l'effort.

Dans les exercices de laboratoire, où la baisse glycémique, durant l'effort est souvent la règle, l'arrêt de l'exercice est très rapidement suivi d'une élévation du taux de glucose sanguin. La première flèche d'hyperglycémie est obtenue dans les cinq minutes qui suivent. Elle s'explique par la mobilisation des réserves glucidiques, laquelle provoque une brusque élévation des réserves circulantes. Celle-ci met en jeu des mécanismes régulateurs provoquant la première baisse. Par contrecoup se produit une nouvelle libération des facteurs inverses ...

CH 4 : EPREUVE DE SURCHARGE GLUCOSEE PAR VOIE ORALE

- Hyperglycémie provoquée par os.

L'épreuve d'hyperglycémie provoquée par voie buccale a été réalisée par de nombreux auteurs. Elle permet d'apprécier la tolérance glucidique en suivant les variations de la glycémie systémique consécutives à une charge en glucose administrée par os et le but recherché a toujours été d'établir des critères de normalité.Ces critères ont une importance capitale pour le dénombrement des diabètes dans une population mais l'accord n'est pas encore unanimement réalisé sur leurs valeurs normales.

Rappelons simplement qu'il existe :

- les critères du service de santé américain.
- les critères de CONN & FAJANS
- les critères de l'Association britannique du diabète.
- les critères de l'O M S (88)

Notre but était différent. En effet, nous avons pris comme sujet de thèse :"Les variations de la glycémie, des paramètres respiratoires et des acides gras libres plasmatiques au cours de l'effort musculaire après une surcharge glucosée". Il nous a donc semblé naturel de faire précéder cette épreuve d'une épreuve d'hyperglycémie provoquée par voie orale afin de comparer les courbes obtenues et de les discuter. Avant d'entreprendre la relation de nos résultats, il nous a semblé utile de préciser le protocole de l'épreuve et les facteurs l'influençant en se rapportant à RUTTON (103).

Rappel d'interprétation physiopathologique

1 - Variations de la glycémie

Par suite du passage par le foie du glucose absorbé, il existe en quelque sorte deux glycémies :

- la première est celle, dosée dans la veine porte, juste après l'absorption du glucose par l'intestin.

- la seconde est celle trouvée à la périphérie sensiblement identique à celle des veines sus hépatiques. Expérimentalement, on a constaté que 2/3 environ du glucose absorbé sont retenus par le foie. On voit donc apparaître un certain nombre de variables agissant sur la glycémie.

- temps de transit dans l'intestin.

- modification possible de l'absorption par la muqueuse intestinale.

- rôle des secrétions digestives.

- état hépatique.

- circulation systémique.

2 - Variations de l'insuline

Chez un individu normal, l'insulinémie suit, dans son ensemble, les variations de la glycémie à la fois dans le temps et sur le plan quantitatif.

Un certain nombre de stimuli déclenchent cette secrétion. Ils expliquent en partie les variations des résultats rencontrés dans l'épreuve d'hyperglycémie.

- stimulus vasculaire : l'augmentation du taux de glucose dans l'artère pancréatique entraîne une hypersecrétion d'insuline

- stimulus d'ordre digestif : le glucagon y joue un certain rôle car après injection intraveineuse de glucagon, il apparaît une secrétion d'insuline. Le déroulement des phénomènes serait le suivant : lorsqu'une charge de glucose arrive dans le tube digestif, des substances du type glucagon sont mises en circulation et sont à l'origine d'une première décharge d'insuline avant que le glucose ait atteint le pancréas. Cette première décharge agira sur la quantité de glucose capté par le foie et par suite, sur la quantité arrivant dans la grande circulation.

- 3 - Facteurs physiologiques intervenant dans l'épreuve d'hyperglycémie :

Trois facteurs interviennent :

a - l'état nutritionnel du sujet

Si l'épreuve est trop rapprochée du dernier repas on aura chez le sujet normal une montée de glycémie plus élevée que si le sujet était à jeun. Un délai de douze heures permet d'éviter cette erreur.

Un sujet en état de restriction glucidique présente une épreuve de tolérance diminuée rappelant celle rencontrée chez le diabétique. Avant de pratiquer cette épreuve, il faut donc toujours vérifier le régime alimentaire du sujet. Une charge glucidique quotidienne de 150g pendant les 3 à 4 jours précédant l'examen semble indispensable pour avoir un résultat correct chez le sujet se nourrissant normalement.

b - l'âge et la grossesse ne sont pas des facteurs dont nous avons à tenir compte dans nos épreuves. Tous les sujets appartenaient en effet à la même tranche d'âge et ils étaient tous du sexe masculin.

Pratique de l'épreuve

Dans le protocole de l'épreuve, chaque temps a une importance fondamentale et doit être pris en considération pour l'interprétation des résultats. L'O M S (88) a émis à ce sujet toute une série de recommandations.

a - Glucose ingéré.

Des quantités variables ont été proposées : Soit des doses fixes, soit des doses proportionnelles au poids, soit des doses proportionnelles à la surface corporelle. En fait, tous ces chiffres sont compris entre 50 et 100 g de glucose.

Le mode d'administration est dicté par la nécessité absolue d'une ingestion la plus rapide possible de glucose en quelques minutes pour permettre une résorption intestinale ne s'étalant pas dans le temps. Les différents procédés sont les suivants: On peut utiliser une solution concentrée de glucose, un hydrolysat d'amidon, un gel aromatisé de glucose, une prise de glucose sous forme d'un repas amenant environ 75 g d'hydrates de carbone.

b - méthode de dosage.

Une seule technique dose le glucose vrai: la technique à la glucose oxydase avec laquelle la glycémie se situe autour de 0,70 g/l (81) Rappelons qu'avec l'auto-analyseur Technicon utilisant la méthode d'HOFFMAN(62), la valeur normale de la glycémie déterminée in vivo et en continu est de 0,85 $\pm$ 0,10 g/l.

C - lieu de prélèvement.

Deux possibilités se présentent : soit par ponction veineuse, soit par voie artériolo-capillaire par piqûre au bout du doigt. Nous avons utilisé la première méthode.

d - Déroulement de l'épreuve.

Des recommandations ont été données en 1965 par l'O M S (88).

Le sujet doit avoir une alimentation et une activité physique normales pendant au moins trois jours avant l'épreuve. Il doit par ailleurs respecter un jeûne nocturne de 12 heures avant le début de l'épreuve et celle-ci ne doit commencer qu'après un repos en position allongée de 30 minutes. Elle se déroule dans une atmosphère calme, le malade étant assis ou couché et ne fumant pas.

Critères de normalité.

L'allure de la courbe d'hyperglycémie provoquée par voie orale est représentée sur la figure 13. Les éléments habituels de son appréciation sont le degré et la chronologie par rapport au temps 0 de l'élévation glycémique, l'allure de la partie descentante de la courbe, la chronologie du retour de la glycémie à une valeur proche de celle observée au temps 0, le dégré et la chronologie de la diminution de la glycémie au dessous de sa valeur initiale.

Nous considérons que le cadre de nos travaux est situé dans des limites précises et qu'il n'y a pas lieu de retranscrire ici les paramètres d'appréciation quantitative concernant la pathologie du diabète.

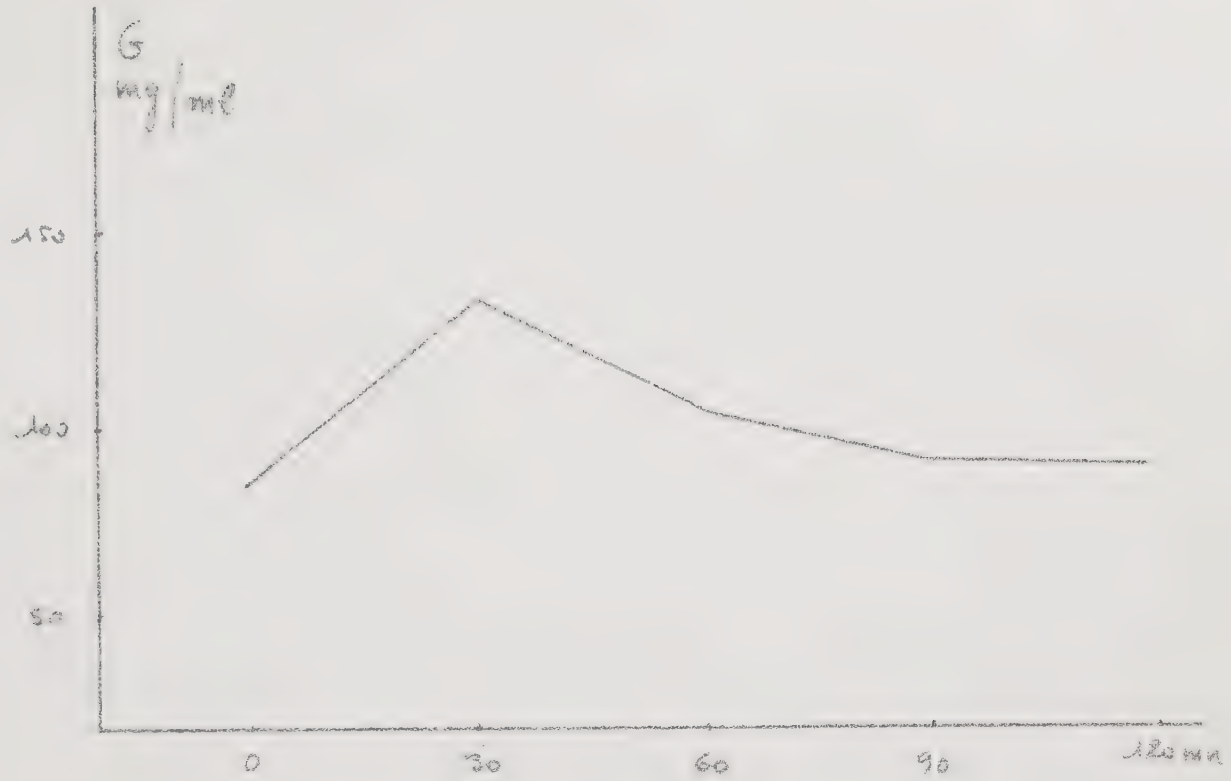


Figure N° 13 – D'après SS FAYANS & J.W. CONN rapporté par FREYCHET (47).

Moyenne des glycémies (mg/100 ml de sang veineux. Méthode de SOMOGYI NELSON ; 1,75 g de glucose par kilo de poids idéal) déterminées chez 111 sujets entre 20 et 39 ans et indemnes d'antécédent diabétique familial.

b - Courbes plates

Elles se voient malgré une absorption buccale correcte du glucose et l'absence de vomissement. Elles peuvent être observées en dehors de toute malabsorption due à une maladie digestive ou de toute affection, telle qu'une hypothyroïdie, susceptibles de les expliquer. Ces courbes sont observées surtout chez des sujets jeunes sans qu'une explication valable puisse être donnée.

c - Courbes retardées ou en deux temps.

Elles sont liées au fait que l'absorption du glucose s'est faite soit de façon retardée, soit en deux parties, un spasme pylorique ayant bloqué un certain temps le passage de l'estomac dans l'intestin.

2 - Variabilité de l'épreuve chez les mêmes individus à des moments différents.

Des variations, pouvant atteindre les zones pathologiques peuvent se voir chez le même individu. Il est possible qu'une hypersecrétion de catecholamines sous le fait de l'émotion modifie plus ou moins, de façon variable d'un test à l'autre le profil de la courbe. Ceci n'est pas prouvé mais incite, lorsque les résultats sont incertains, à refaire l'épreuve.

3 - Variations dues à des agents pharmacodynamiques.

- Le diabète"stéroïdien" apparaissant au cours d'un traitement par les gluco-corticoïdes est une éventualité relativement fréquente.

- Les salidiurétiques thi diziques sont susceptibles de diminuer la tolérance au glucose, donc de donner une courbe de type diabétique chez des sujets qui ne sont pas diabétiques.

Les hormones medullo-surrénales sont connues pour diminuer la tolérance au glucose.

L'association oestrogène- progestérone entraîne,dans certains cas, l'apparition d'une courbe diabétique.

Les états de déplétion potassique quelle qu'en soit la cause peuvent entraîner une diminution de la tolérance au glucose.

La caféine a été signalée comme élevant significativement la glycémie.

Nous ne ferons que citer les sulfamides hypoglycémiants utilisés dans la thérapeutique du diabète sucré.

CONCLUSION

L'hyperglycémie provoquée per os représente l'épreuve de base de l'exploration fonctionnelle de la glycorégulation. Bien qu'elle soumette l'organisme en un temps très bref à une charge importante en un sucre qui est directement absorbé, on est frappé, chez le sujet normal, par l'amplitude relativement faible des variations de la glycémie lors de l'épreuve: ce fait implique une bonne mise en jeu et une adaptation parfaite des mécanismes homéostasiques. En dehors de l'âge, de l'état de grossesse, ou de l'état nutritionnel, de nombreux facteurs, tant physiologiques que pharmacologiques peuvent intervenir pour donner des résultats erronés: ils doivent être discutés ou éliminés pour que l'épreuve soit valable.

CHAPITRE 5 : METABOLISME DES A.G.L.P.

HISTORIQUE

De nombreux physiologistes ont considéré jusqu'à ces derniers temps que les hydrates de carbone étaient le seul combustible du muscle. Et pourtant,CHRISTENSEN (20) écrivait en 1931 ces lignes évocatrices : " Dans une expérience portant sur le sujet M N,la teneur en sucre du sang après un régime riche en graisses s'est abaissée à environ 0,40 g/litre. ... M N ne réussit plus à pédaler ... A ce moment, il absorbe du glucose, 100 grammes. Aucun effet ne se manifeste pendant les premières minutes, mais au bout de 10 à 15 minutes, les symptômes d'hypoglycémie y compris l'épuisement disparurent et le sujet put continuer à travailler. Les muscles ne semblent pas avoir utilisé le sucre ingéré, tout au moins pendant les soixante minutes durant lesquelles la détermination du métabolisme a été continuée. En effet, signe d'une utilisation croissante des graisses, le Q R continue à baisser pendant 20 minutes malgré l'élévation de la teneur en sucre du sang et n'était pas revenu au bout de soixantes minutes à la valeur trouvée avant l'administration du sucre".

Ainsi, on soupçonnait l'utilisation des graisses sans savoir de quelle façon les muscles allaient en tirer parti pour leurs besoins énergétiques. C'est en 1952 que LOVATT EVANS énonce la thèse suivante : Les graisses doivent être souvent utilisées, et pour que ceci ait lieu, il faut d'abord leur conversion en hydrates de carbone puis leur stockage dans les muscles sous forme de glycogène. LESTRADET (76), la même année publiait une"étude physiopathologique générale des relations entre le métabolisme des sucres et celui des lipides" dans laquelle il affirmait :

"L'énergie nécessaire est avant tout fournie par le glucose, la seule substance susceptible d'être utilisée par toutes les cellules chez le sujet normal comme chez le diabétique". Il expliquait que ce glucose mis à la disposition des cellules provenait de deux sources : d'une part la source hépatique, de loin la plus importante, d'autre part l'apport direct de glucose qui est une source très accessoire.

A jeun, en période de repos, le foie reçoit en permanence de nos tissus de réserve et tout spécialement des graisses, une quantité définie d'acides gras et de glycérol provenant de l'hydrolyse des triglycérides stockés dans la cellule adipeuse. Normalement la cellule hépatique resynthétise à partir du glycérol et à partir des acétates, une quantité suffisante de trioses phosphates, puis d'hexoses phosphatés et enfin de glucose 6 phosphate libéré dans la circulation. Donc, chez le sujet à jeun, l'apport de glucose est assuré conjointement par cette néoglycogénèse et par la glycogénolyse hépatique qui reste pour l'organisme une source de glucose immédiatement disponible en cas de nécessité.

Les lipides alimentaires vont également participer à la néoglycogénèse au même titre que les lipides de réserve dont ils prennent d'ailleurs la relève pour un temps plus ou moins long. Il n'est qu'une seule circonstance où le foie ne met pas en jeu la néoglycogénèse et arrête sa fabrication de glucose : l'administration du glucose lui-même.

Cependant, les biochimistes ont longtemps douté de la faculté de convertir les graisses en hydrates de carbone. LESTRADET (76) lui même , admettait que la resynthèse des trioses à partir des acétates se faisait " de façon complexe et encore obscure". Il n'y avait aucune preuve que

cette conversion se produise immédiatement et de nombreux auteurs passaient sans insister sur ce problème, à savoir comment l'énergie de la graisse alimentaire était rendue disponible aux muscles dans le but de travail.

Pour la première fois en 1956, l'importance du rôle des Acides Gras Libres Plasmatiques (A.G.L.P.) a été soupçonnée à peu près simultanément par trois groupes de chercheurs : DOLE (34), GORDON (54) LAURELL (69) qui, à l'aide d'hyperglycémies provoquées par os démontrèrent les mouvements inverses de la glycémie et des A.G.L.P. Puis , des expériences faites avec de l'acide palmitique marqué, indiquent pour les A.G.L.P. un taux élevé de renouvellement. En effet, une molécule sur quatre est renouvelée chaque minute.

En 1964, enfin, les travaux de CARLSON (14) menés conjointement à ceux d'HOLMGREN (98) prouvent l'oxydation directe des A.G.L.P. par le tissu musculaire. Les A.G.L.P. deviennent l'aliment préférentiel de la cellule musculaire au repos alors que le glucose garde cette place de choix lors de l'effort : ces deux sources d'énergie sont donc utilisées en proportions inverses au cours de ces deux états.

Repos : A.G.L.P. + glucose

Effort : GLUCOSE + a.g.l.p.

Dans cet esprit, nous avons donc cherché à suivre les variations des A.G.L.P. au cours de l'effort musculaire. Et avant d'aborder ces variations il nous a semblé nécessaire de rappeler quelques notions concernant laur métabolisme.

Comme nous l'avons déjà dit, une molécule sur quatre A.G.L.P est renouvelée chaque minute. Chez l'homme leur demi-vie est d'environ deux minutes et n'excède jamais trois minutes. Ainsi la masse des A.G.L.P;

renouvelée en 24 heures chez un individu adulte normal dont le volume plasmatique est supposé de trois litres, est de 162 grammes (56) Cela signifie qu'en 24 heures, 162 grammes d'Acides Gras ont été libérés dans le plasma. Si l'on suppose que ces Acides Gras sont brûlés en totalité, on atteint 9 calories X 162 = 1458 calories par 24 heures. Ceci révèle l'importance énorme des Acides Gras Libres dans la balance énergétique de l'organisme. Ces A.G.L.P. représentent en quelque sorte la fraction circulante métabolisable des lipides de réserve au même titre que le glucose vis à vis des réserves glucidiques ou les amino-acides vis à vis des réserves protéïques.

Taux et nature des A.G.L.P. Leurs formes de transport.

Chez un sujet normal à jeun, le taux des A.G.L.P est compris entre 180 et 785 micro-équivalents par litre. Il n'est donc pas question,pour l'instant, d'établir des critères de normalité aussi précis que pour la glycémie. Simplifions donc en écrivant que les taux moyens se situent entre 400 et 600 micro-équivalents par litre, ce qui représente environ 150 mg/litre. Cinq acides gras constituent à eux seuls 90% des A.G.L.P. Ce sont :

l'acide palmitique : 21 à 27%

l'acide palmitoléïque: 2 à 10%

l'acide stéarique : 2 à 16%

l'acide oléïque : 25 à 50%

l'acide linoléïque : 5 à 20%

En fait, les travaux de CARLSON & HOLMGREN montrent que durant l'exercice, ce sont essentiellement l'acide palmitique, l'acide linoléïque et l'acide oléïque qui sont oxydés.

Ces A.G.L.P sont fixés par la sérum albumine avec d'autres anions. Cette association A.G.L.P/Protéines ne modifie pas la fonction carboxyle qui reste libre.

Origine des A.G.L.P.

Les A.G.L.P. proviennent presqu'exclusivement de l'hydrolyse des triglycérides du tissu adipeux et pour une très faible part des triglycérides circulants. Ces résultats ont été confirmés par les travaux de DOLE (35) RABEN (95) RESHEF (97) et VAUGHAN (113). Dans le tissu adipeux, coexistent deux mécanismes antagonistes : la synthèse et l'hydrolyse des triglycérides (T G --- Glycérol + A.G.L.P.) Lorsque l'hydrolyse l'emporte sur la synthèse, les Acides Gras s'accumulent dans le tissu adipeux et passent dans la circulation générale. L'équilibre de ces deux phénomènes dépend d'une part de l'activité de la lipase qui hydrolyse les T G, d'autre part de la présence de l'A T P et l'A M P cyclique, enfin des disponibilités de la cellule en énergie et en glycérophosphate, lequel contribue à la reestérification des A G L , reformant alors des triglycérides. Cette réestérification se déroule dans le tissu adipeux, le foie et l'intestin.

a - la lipase tissulaire.

Cette lipase intra cellulaire spécifique (VAUGHAN(112) suggère la présence d'au moins deux lipases), est hormono sensible. Son point d'action se trouve au niveau de la paroi vasculaire. Elle est très fortement activée par les catécholamines, et,à un degré moindre, par l'A C T H le glucagon et l'hormone thyréotrope. Donc la stimulation adrénalinique augmente la libération des A G L , mais aussi dans une moindre mesure, leur récstérification.

De ce fait, le taux des A.G.L.P circulants qui représente la résultante de ces processus inverses apparaît comme un critère discutable de la lipolyse. Il faut noter ici, que d'autres facteurs sont responsables de la mobilisation des A.G.L.P. En effet, au cours des expériences de BASU & STRONG (6), effectuées en 1960, deux malades, avec des marques évidentes d'hypopituitarisme et trois malades surrenalectomisés ont montré une augmentation dans le plasma de la concentration des A.G.L.P au cours de l'exercice musculaire comme chez les sujets normaux.

b - le rôle de l'A M P 3'5' cyclique:

Au niveau de la cellule, l'A M P 3'5' cyclique provoque une diminution de la lipolyse (VAUGHAN & STERNBERG (113).

c - la biosynthèse des Triglycérides par la cellule adipeuse exige la présence d'A T P, d'A G L , d'α glycérophosphate et de Coenzyme A. Or, l'ATP et l'α glycérophosphate sont tous deux formés lors de la dégradation du glucose. Donc, tout facteur augmentant les disponibilités de la cellule en glucose augmente indirectement la synthèse des triglycérides et par voie de conséquence, réduit la teneur en A G L du tissu adipeux.

Selon VAUGHAN & STERNBERG (113) le passage des A G L dans le compartiment vasculaire ne demande pas d'énergie. Pour que ce passage se fasse, il faut que la lipolyse des triglycérides l'emporte sur la synthèse, que la sérum albumine, indispensable récepteur des A G L dans le compartiment vasculaire ait un taux plasmatique suffisant et que le débit sanguin réglant la quantité de la sérum albumine soit suffisant.

Destinée des A G L P .

Les A G L P ne restent dans le sang que cinq à six minutes. Ils sont rapidement captés par tout l'organisme, en particulier par le foie, le tissu adipeux et les muscles striés. La captation des A G L P par les tissus est proportionnelle à leur taux plasmatique.

a - le foie retient 25 à 50 % des A G L P. Une faible partie est oxydée complètement en gaz carbonique. Une autre partie, très faible également est transformée en corps cétoniques qui sont remis en circulation.

Quand à la majeure partie de A.G.L.P. (80 à 90 %) elle est estérifiée. Cette estérification conduit surtout à des triglycérides (60 à 70 %) lesquels sont remis en circulation sous forme de triglycérides unis aux lipoprotéines légères.

b - le muscle strié métabolise ces A.G.L.P. selon deux voies. Une première voie est constituée par l'oxydation directe, laquelle est à l'origine d'une grande partie de l'énergie utilisée par le muscle. Pour HAVEL (59), 25 à 50 % du gaz carbonique produit au cours de l'effort prolongé provient de l'oxydation immédiate des A.G.L.P. Une seconde voie de moindre importance consiste en l'estérification des A.G.L.P. en triglycérides et le stockage des triglycérides ainsi formés.

c - Dans le tissu adipeux, les A.G.L.P. sont estérifiés et les triglycérides ainsi formés sont stockés. Très accessoirement, le tissu adipeux peut oxyder les A.G.L.P qu'il capte(LAURELL 71)

Au niveau du muscle et de la cellule adipeuse un apport calorique oriente les A.G.L.P captés par ces tissus vers le stockage sous forme de triglycérides. Un état de jeûne prolongé par contre, réduit l'estérification et favorise l'oxydation directe.

Au niveau du foie, les A.G.L.P captés par cet organe sont estérifiés indépendamment de l'état nutritionnel de l'organisme (HAVEL)(59)

Régulation du taux plasmatique des A.G.L.P.

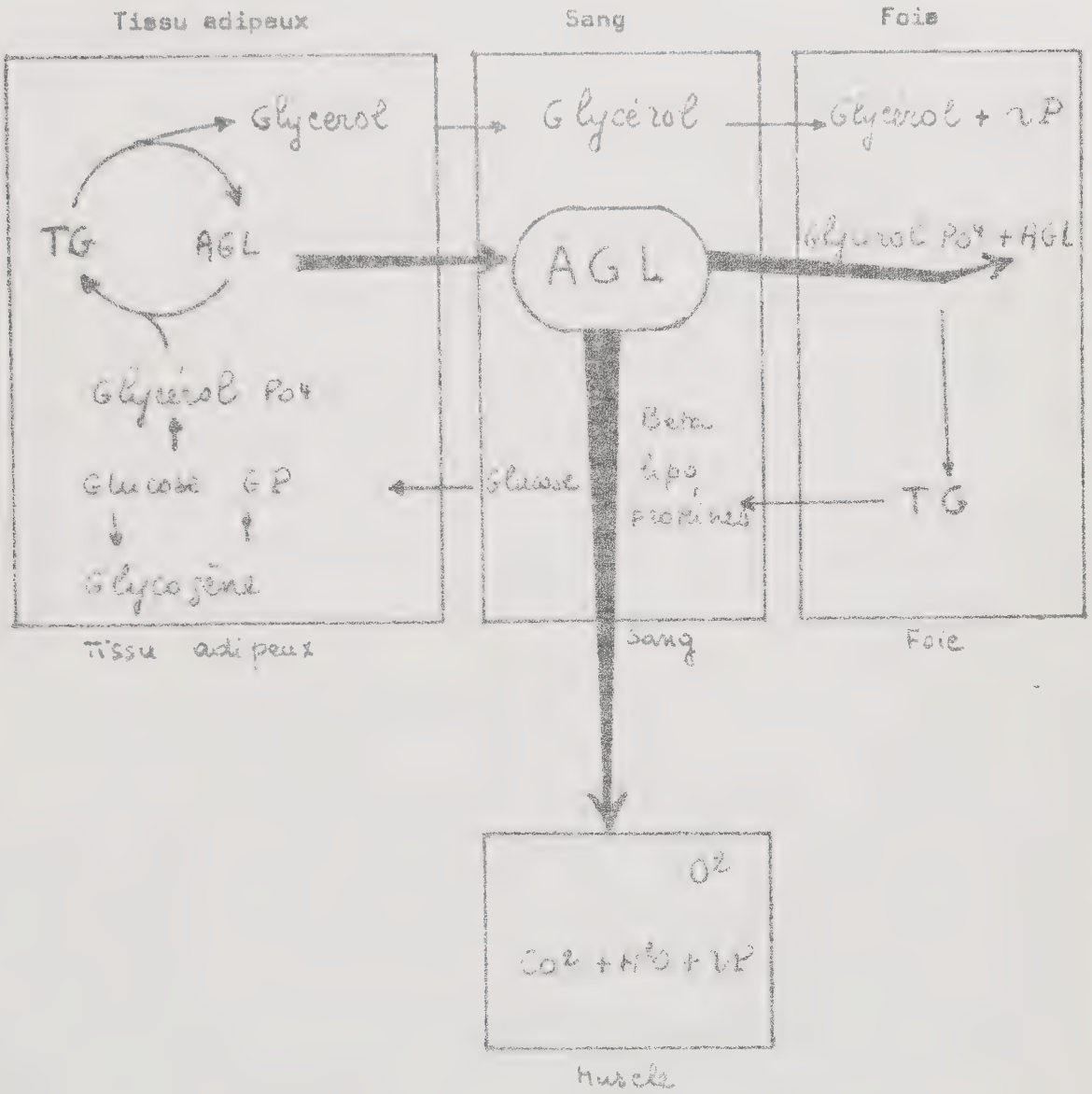
Du fait de leur faible taux et de leur demi-vie très brève, les moindres variations dans la libération des A.G.L.P ou leur fixation périphérique entraînent d'importantes fluctuations de leur taux plasmatique. C'est donc essentiellement la vitesse de libération de A.G.L à partir du tissu adipeux qui règle leur taux circulant. Cette libération est commandée par des facteurs métaboliques et des facteurs hormonaux.

a - les facteurs métaboliques

L'équilibre au sein de la cellule adipeuse entre l'hydrolyse et l'estérification dépend de la présence de glycérophosphate dont la source unique est le glucose circulant. Ainsi, toute perturbation de l'entrée et de l'utilisation cellulaire du glucose retentit sur le métabolisme lipidique.

En cas d'élevation de la glycémie, il y a hyperinsulinisme réactionnel et la quantité de glycérophosphate disponible augmente. La vitesse de synthèse des triglycérides dépasse celle de la lipolyse. Le taux sanguin des A.G.L.P s'abaisse. Une diminution du glucose intra cellulaire par carence d'apport ou par déficit insulinique entrave la reestérification des A.G.L.P. On aura donc dans ce cas une élévation marquée des A.G.L.P.

Pour résumer le métabolisme des A.G.L.P, nous emprunterons à BALL & SUNGAS leur schéma simplifié.

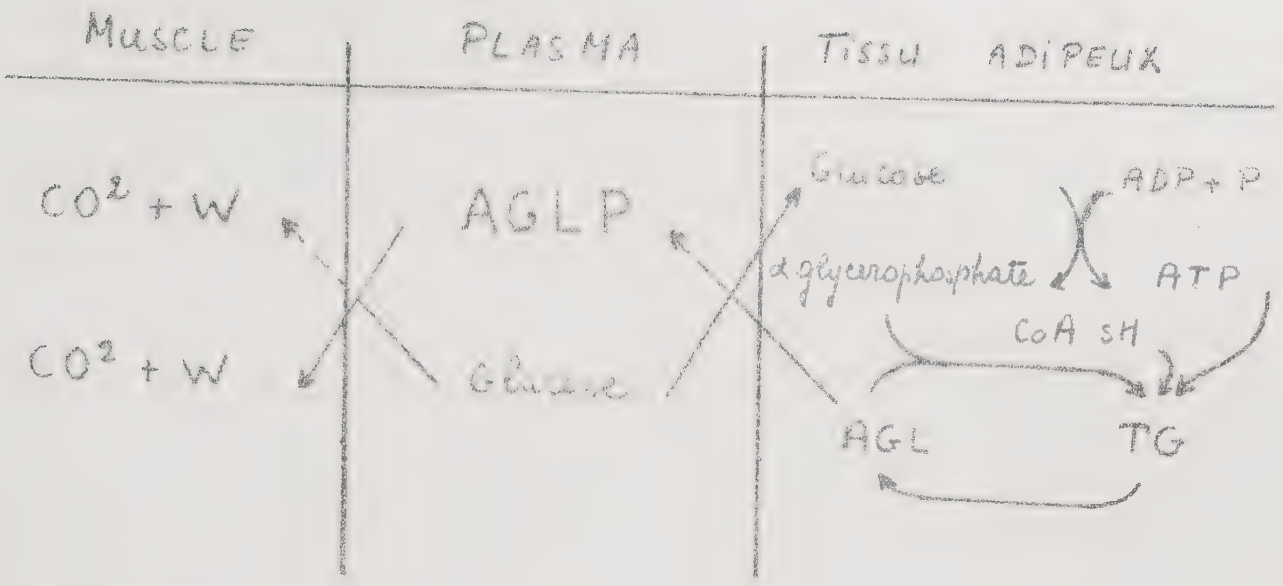


Le cycle des A.G.L ainsi décrit joue un rôle majeur dans la production de chaleur et le maintien de la température corporelle.

La valeur du taux des A.G.L.P à jeun est toujours en corrélation inverse avec l'intensité du métabolisme glucidique. L'analyse des courbes " Doses - Action " de BALASSE (5) montre : l'extrême sensibilité des A.G.L.P. à l'hyperglycémie ou à l'insuline puisque les doses de 25 mg par kilo de glucose (soit 1,75 g pour un sujet de 70 kgs) ou de 0,025 Unité par kilo d'insuline ont déjà un effet très significatif. Ces mêmes courbes montrent d'autre part qu'un effet maximal sur les A.G.L.P. est déjà obtenu pour les doses de 100 mg par kilo de glucose ou de 0,050 Unité par kilo d'insuline. A l'inverse, il semble que les variations du taux des A.G.L. puissent à leur tour modifier la tolérance glucidique, c'est à dire la sensibilité à l'insuline et l'entrée du glucose dans les cellules. Chez l'homme, l'augmentation des A.G.L.P., secondaire à une perfusion de noradrénaline ou de triglycérides diminue la tolérance glucidique. On obtient alors une courbe glycémique de type diabétique.

b - les facteurs hormonaux.

Dans le groupe des inhibiteurs de la lipolyse, on trouve essentiellement l'insuline qui stimule l'utilisation du glucose par toutes les voies métaboliques, augmente sa conversion en A.G.L et accroît la synthèse du glycogène. De plus, l'insuline agit en diminuant la lipolyse. Ainsi le glucose et l'insuline sont les facteurs les plus efficaces et le cycle glucose - acides gras a été schématisé par RANDLE (96)



Le glucose empêche la sortie des A.G.L.P , les A.G.L.P entravent l'entrée du glucose.

Dans le groupe des agents mobilisateurs des graisses, nous trouvons outre les catécholamines un grand nombre de substances.

L'adrénaline et la noradrénaline augmentent la lipolyse par activation de la lipase tissulaire. Au cours des phéochromocytomes, il est fréquent d'observer une élévation des A.G.L.P.

L'hormone de croissance a une action lipomobilisante selon RABEN & HOLLENBERG (95) mais son action est mal précisée.

L'A C T H augmente la libération d'A G L en agissant comme les catécholamines.

Le T S H exerce une action directe sur la lipolyse selon FREINKEL (46)

Le glucagon stimule la lipolyse par action diphasique. Dans un premier temps, élévation de la glycémie et augmentation de l'utilisation du glucose par les tissus périphériques. Ce phénomène provoquerait une diminution précoce des A G L. Dans un second temps, l'action adipokinétique se manifeste (LIPSETT)(79)

Les hormones thyroïdiennes enfin et les glucocorticoïdes n'ont aucune action par elles-mêmes sur la lipomobilisation mais leur présence est indispensable à l'efficacité des hormones précédentes dont elles modulent l'activité.

c - L'activité du système nerveux autonome augmente lorsque l'organisme doit faire face à des besoins énergétiques accrus et de ce fait la lipomobilisation est augmentée selon une action directe par libération d'adrénaline et de noradrénaline, et selon une action indirecte par les effets vaso-moteurs de ce système.

Variations physiologiques des A.G.L.P.

Les A.G.L.P diminuent après un repas riche en glucides, ils augmentent rapidement dans les douze heures qui suivent la naissance. (VAN DUYNE) (109)

Ils augmentent également avec le passage à la station debout (HAMLIN) (58) au cours du jeûne, au cours de la lutte contre le froid, au cours d'un stress chez des sujets particulièrement réactifs(BOGDONOFF) (11).

Les A.G.L.P varient au cours de l'exercice musculaire et nous allons étudier plus en détail ce point particulier.

CHAPITRE 6 : Variations des A.G.L.P au cours de l'effort musculaire.

Plusieurs auteurs se sont intéressés à ce problème selon des techniques différentes. Nous citerons d'abord BASU & STRONG (6) qui, en 1960 avec 7 sujets, mettent au point le protocole ci-après : Les sujets se présentent à jeun et observent un temps de repos de 30 minutes. Un prélèvement sanguin est alors effectué et le sujet marche sur un tapis roulant incliné de 3,5 % dans le sens de la montée, à la vitesse constante de quatre miles à l'heure (environ 6,5 km à l'heure). A des intervalles de 15 minutes, la marche est interrompue pour effectuer un prélèvement sanguin au niveau d'une veine brachiale.

Le tableau N° 3 résume les variations du taux des A.G.L.P, de la glycémie et du Q.R. au cours de l'effort.

Les auteurs notent simplement qu'ils observent une légère chute de la glycémie, une augmentation croissante du taux des A.G.L.P et une légère chute (ou un état stationnaire) du Q.R.

Les auteurs notent également qu'ils ont cherché des corrélations entre le taux de glucose, celui des A.G.L.P et les variations du Q.R. et qu'aucune relation n'a été trouvée

Ils transcrivent également les résultats chez un sujet normal qui a continué à marcher durant 2 heures (voir figure 14) mais n'en tirent aucune conclusion.

Un an avant eux, deux auteurs suédois CARLSON & PERNOW avaient étudié la concentration artérielle et veineuse des A G L P au cours de

	A G L P milliimoles/l	Glucose millimole/l	Q R
Avant le travail	0,76	4,6	0,78
Après 15' de travail	0,95	4,3	0,83
Après 30' de travail	1,08	4,0	0,82
Après 45' de travail	1,34	4,0	0,80
Après 60' de travail	1,44	4,1	0,80

Tableau N° 3

l'exercice musculaire. Bien qu'elle soit chronologiquement antérieure, nous avons tenu à placer cette étude après celle des auteurs anglais car elle fait appel à une technique plus compliquée et de ce fait, les résultats qu'elle nous apporte sont plus complets. Le protocole mis au point est le suivant : Six sujets du sexe masculin âgés entre 20 et 35 ans doivent pédaler sur une bicyclette ergométrique (en position assise ou couchée) L'originalité de la méthode réside dans le fait qu'un seule jambe travaille à la fois, un ressort permettant le retour passif de la pédale. Le travail est réalisé à une puissance progressive.

0,88
0,86
0,84
0,82
0,80
QR

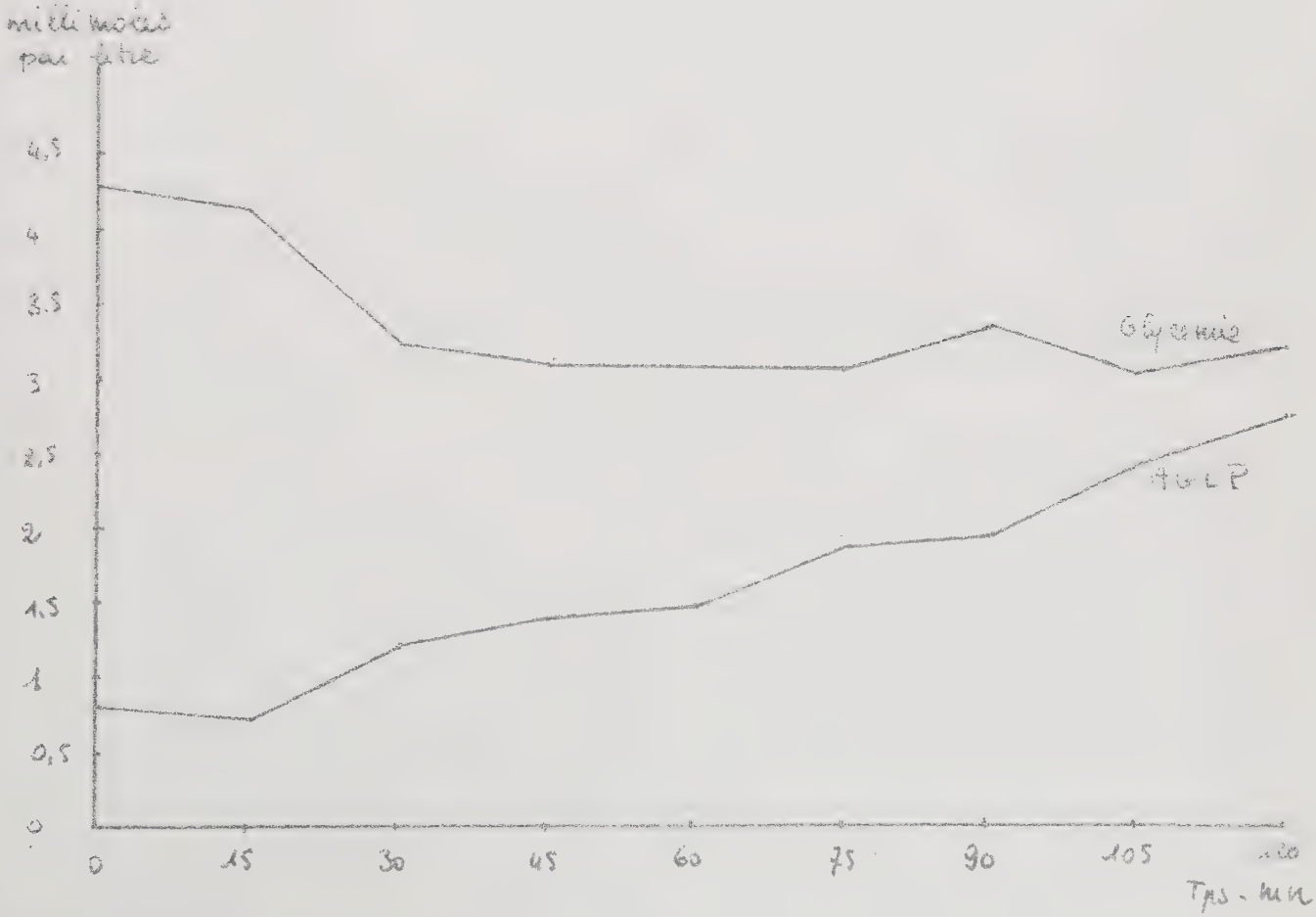

millimoles par litre
4,5
4
3,5
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
Glycémie
TOLP
0
15
30
45
60
75
90
105
120
Tps - mn

Figure 14

Au départ, on fixe selon les sujets une puissance de l'ordre de 150 à 300 kgm par minute et toutes les 5 minutes, on ajoute une charge équivalente à la puissance de départ. Si par exemple, la puissance de départ a été fixée à 200 kgm par minute, elle passera à 400 kgm/mn à la 5ème minute, à 600 kgm/mn à la 10ème minute etc...

Afin de mieux comparer avec nos travaux, l'équivalence entre les kgm/mn et les watts est la suivante : 1 watt = 9,8 kgm/mn.

Les prélèvements sanguins se font à trois endroits différents : l'artère brachiale, la veine fémorale droite et la veine fémorale gauche. Il n'y a aucune héparinisation préalable et le dosage des A G L P a été effectué par une méthode titrimétrique. Les résultats obtenus sont les suivants : Chez les 6 sujets, on a observé une chute des A G L P artériels durant l'exercice de l'ordre de 40 %. Après 30 minutes de repos, ces taux avaient repris 20 % de leur valeur initiale. Un nouvel effort demandé à deux des sujets provoque une nouvelle baisse du taux des A G L P artériel le taux final restant sensiblement identique à celui observé à la fin du premier exercice. C'est ce que montre la figure N° 15 sur laquelle nous n'avons fait apparaître que quatre courbes afin de ne pas trop surcharger cet ensemble.

Les taux veineux suivent une courbe parallèle mais ils sont presque toujours inférieurs aux taux artériels. On trouve d'abord la courbe des taux de la veine fémorale de la jambe au repos, puis en dessous (avec des valeurs inférieures de l'ordre de 10 à 15 %) la courbe des taux de la veine fémorale de la jambe qui travaille.Ces courbes sont résumées sur la figure N° 15 . Elles ont été établies à partir de l'effort

chez un sujet qui avait observé un jeûne de 36 heures avant d'aborder l'expérience. Ces mêmes auteurs reprennent leurs travaux avec cette fois des puissances constantes et des puissances progressives comme ils l'avaient déjà fait antérieurement. Ils y ajoutent une étude sur les variations des A G L P après l'effort en effectuant des dosages toutes les cinq minutes, mais leurs prélèvements sont faits essentiellement au niveau de l'artère brachiale.

Les exercices se font toujours sur la bicyclette ergométrique soit à puissance constante (de 600 à 1200 kgm par minute) pendant trente minutes, soit à puissance progressive (augmentation de puissance toutes les six minutes)

a - lorsque la puissance est constante, le taux des A G L P diminue pendant environ dix minutes. Cette diminution est significative dès la deuxième minute. a partir de la dixième minute, le taux des A G LP va remonter pour atteindre un taux sensiblement égal au taux de départ (figure 17)

b - lorsque la puissance croît, on observe une suite de chutes successives du taux des A G L P. Chaque fois que la puissance augmente le taux des A G L P diminue (revoir figure 15) Les sujets s'arrêtent lorsqu'ils sont épuisés. On observe alors une chute du taux des A G L P de l'ordre de 40 % par rapport au taux de base.

c - Après l'exercice, le taux des A G L P remonte brutalement avec un maximum dès la cinquième minute. (figure 18)

Ces auteurs considèrent dès lors qu'on peut établir deux périodes au cours de l'effort. Une première période dite " vasculaire " c'est la

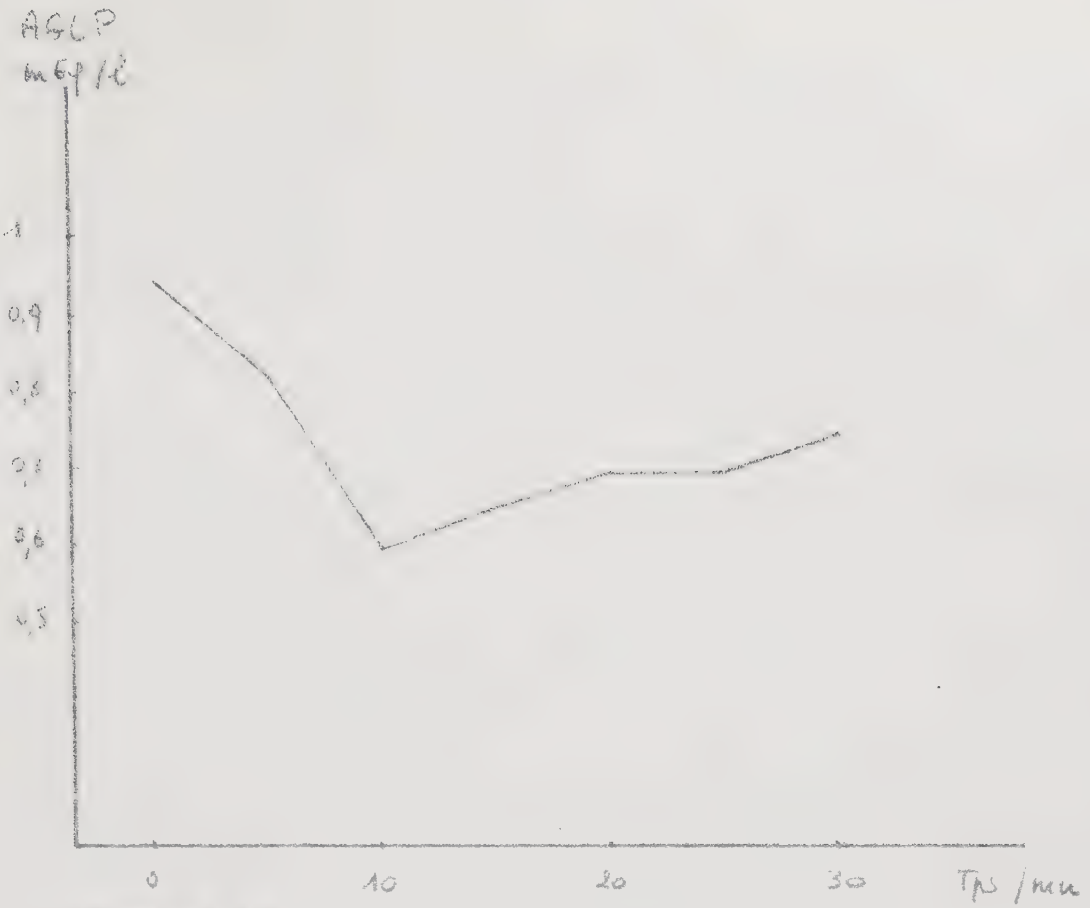


Figure N° 17

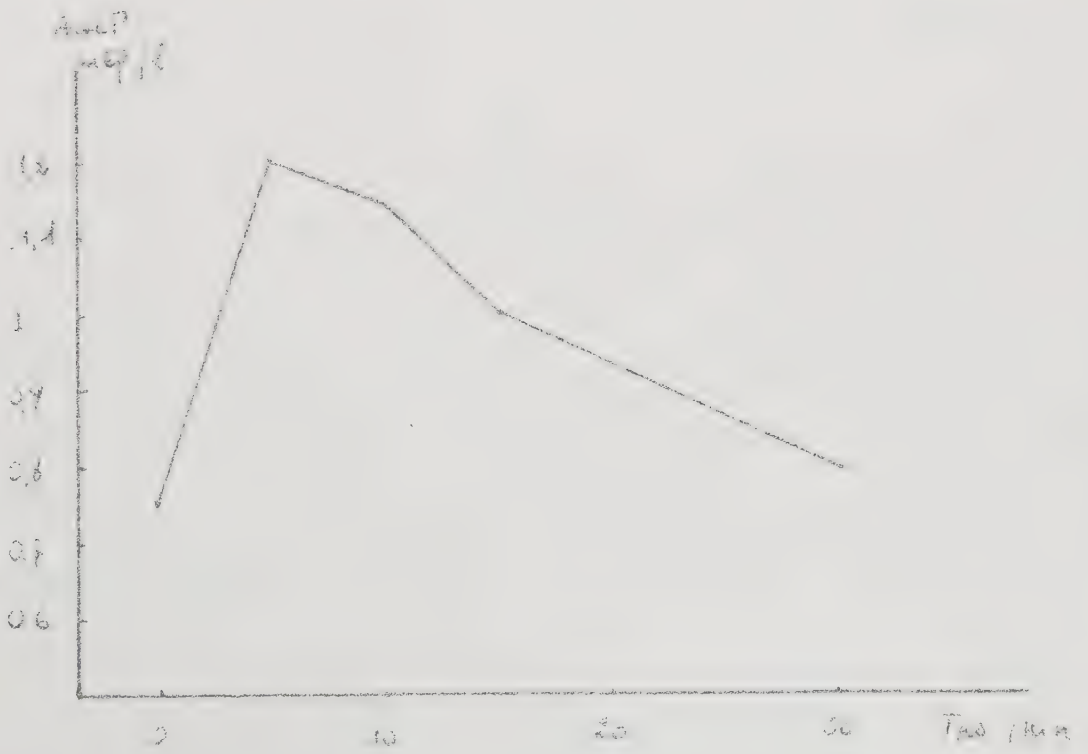


Figure N° 18

phase où le taux des A G L P baisse et cette chute serait en rapport avec l'augmentation du débit sanguin dûe à l'adaptation cardio vasculaire quasi immédiate. La chute des A G L P observée à chaque augmentation de puissance obéirait au même phénomène (une accélération du pouls était toujours notée à ce moment là). Une seconde période dite"métabolique" : Après la dixième minute, en effet, le taux des A G L P augmente en même temps que le taux de glycérol sanguin, ce qui témoigne d'une augmentation de la lipolyse, alors que le débit sanguin est à peu près constant.

En ce qui concerne la phase de récupération, la brusque remontée de la courbe est attribuée au fait que le sujet retrouve assez vite son état cardio vasculaire de base. La descente beaucoup moins brutale que l'on observe ensuite est attribuée au " retard métabolique " dû au fait que l'organisme a contracté une dette d'énergie.

Pour terminer cette étude, notons qu'en 1964, RICHARD, HAVEL & HOLMGREN (98) ont perfusé du palmitate marqué chez des sujets normaux au cours de l'effort, puis de l'oléate et du linoléate marqués. Au cours de l'exercice, les taux d'oxydation de ces trois sels étaient semblables, alors que leur abondance relative dans les A G L P changeait un peu au cours de l'exercice. Ces mêmes auteurs notent que chez un sujet normal non entraîné à l'effort musculaire, 25 à 50 % des A G L sont oxydés immédiatement en gaz carbonique, alors que chez un sujet entraîné, cette proportion peut atteindre 75 %.

B - MATERIEL ET METHODE

CHAPITRE I : LE MATERIEL

I - Les sujets :

Avec une gentillesse et une coopération qui ne se sont jamais démenties, deux catégories d'étudiants ont accepté de participer bénévolement à cette étude. D'une part, les étudiants en médecine de la Faculté de Médecine de Reims, d'autre part, les etudiants du Centre Régional d'Education physique et Sportive de Reims, les premiers étant classés à priori dans la catégorie des sujets non entraînés, les seconds dans la catégorie des sujets entraînés. En fait, nous nous sommes aperçu très vite que cet " à priori " reposait sur des données fragiles. En effet, si certains de ces étudiants en médecine ne pratiquaient aucune activité sportive, d'autres "faisaient de temps en temps" une partie de tennis, un match de foot-ball ou un parcours nautique. D'autres enfin ne pratiquaient plus aucune activité sportive , mais ils avaient un passé sportif assez conséquent.

En ce qui concerne les étudiants en Education physique, le Centre Régional assure leur formation pour les amener quatre ans après leur baccalauréat au Certificat d'Aptitude au Professorat d'Education Physique. Hormis les études intellectuelles, ces jeunes gens travaillent physiquement environ dix huit heures par semaine. Ils étudient les sports individuels (Natation, Combat, Athlétisme, Gymnastique aux agrès) et les sports collectifs (Foot-ball, Hand-ball, Volley-ball, Rugby, Basket-ball) et les différents aspects de l'Education Physique.

Il faut ajouter que, bien que la formation de ces étudiants soit commune, certains se spécialisent dans une ou plusieurs activités voisines. Ceci nous aidera à comprendre pourquoi les réponses de ce groupe furent parfois hétérogènes.

Ainsi la notion d'entraînement est une notion excessivement complexe. Nous pensons qu'il est nécessaire de distinguer l'entraînement considéré comme l'acquisition de certaines techniques sportives et l'entraînement caractérisant essentiellement la préparation d'une personne à une performance sportive. Dans ce dernier cas, il est évident que l'entraîneur choisit des exercices spécifiques et que la préparation d'un footballeur sera nécessairement différente de la préparation d'un lutteur ou d'un nageur. Qui plus est, à l'intérieur d'une même spécialité (la course par exemple) la préparation d'un coureur de vitesse sera différente de celle d'un coureur de fond. Donc, si l'on s'en tient à ce sens particulier de l'entraînement, aucun des étudiants du Centre Régional d'Education Physique et Sportive n'était particulièrement "entraîné" à la bicyclette ergométrique. Ceci fut notre premier problème. Nous l'avons résolu d'une façon simpliste, comme nous le disions plus haut en posant l'égalité : sujet pratiquant régulièrement une ou plusieurs activités sportives = sujet entraîné.

Tous les sujets ayant participé à nos épreuves avaient, sauf deux d'entre eux, un âge compris entre 20 et 24 ans. Les deux sujets qui font exception étaient deux professeurs du Centre Régional, choisis particulièrement parce qu'ils pratiquent encore régulièrement une activité sportive. L'un est un spécialiste de trampoline et de ski, l'autre est entraîneur joueur de foot-ball.

II - Les caractères du travail.

La puissance fixée à l'ergocycle et la durée du travail ont été fixées arbitrairement. Nous verrons dans la suite de ce travail les résultats obtenus avec des puissances variant de 80 à 120 wtts pour les durées de 40 à 60 minutes en ce qui concerne les sujets non entraînés. Pour les sujets entraînés nous avons fixé des puissances allant de 100 à 250 watts sans déterminer de durée à priori. Nous avons en effet demandé à nos étudiants sportifs de pédaler jusqu'à épuisement. En fait, cette technique ne nous a pas satisfait et nous avons corrigé par la suite. En effet, la notion d'épuisement, si elle peut se traduire objectivement sur nos graphiques reste cependant subjective en ce qui concerne le sujet lui-même. Et, si notre sujet a peu d'enthousiasme pour le travail qu'on lui demande, il se trouvera assez rapidement"épuisé". Par contre, si l'on fixe une durée précise (à condition bien sûr que cette durée soit en rapport avec les possibilités physiques du sujet) pour l'effort à accomplir, l'étudiant sera capable de reculer lui-même ce moment précis où il est épuisé et où il va s'arrêter. il fera un effort supplémentaire pour "tenir" les dernières minutes afin d'aller jusqu'au terme de l'effort qui lui a été demandé. C'est dire l'importance du côté psychologique de cette épreuve. Nous citerons un autre exemple : L'un des deux professeurs ayant participé à ces travaux avait vu sa puissance de travail fixée à 120 watts. Il devait aller lui aussi jusqu'à l'épuisement. Mais nous avions sous-estimé les possibilités physiques de notre collègue. Au bout de 2 heures, il s'est arrêté. Non parce qu'il était épuisé, mais tout simplement parce qu'il n'arrivait plus à vaincre son ennui. Ainsi, nous avons eu ici un second problème à aborder, celui des conditions d'environnement et nous en reparlerons par ailleurs.

Contrairement à l'épreuve sportive enthousiasmante en elle-même, l'épreuve de laboratoire est une épreuve ennuyeuse et il est assez difficile de convaincre les participants d'y faire bonne figure.

Enfin, Messieurs DUBOIS de MONTREYNAUD & CHOISY avaient noté, rappelons le, que les phénomènes surajoutés de digestion étaient probablement responsables de certaines irrégularités dans les courbes glycémiques. Nous avons pu obtenir des étudiants en médecine qu'ils se présentent à l'épreuve en état de jeûne depuis la veille au soir. Malheureusement, il ne nous a pas été possible d'avoir les mêmes exigences vis à vis des élèves du C.R.E.P.S qui venaient le plus souvent pédaler l'après-midi du fait de leur travail. Là encore, s'opposent l'épreuve pratiquée en laboratoire et l'épreuve sportive au cours de laquelle les participants s'alimentent le plus souvent (courses cyclistes, marathon, traversée de la Manche à la nage).

III - La bicyclette ergométrique (ergotest)

1) Description - Fonctionnement.

Cet appareil permet la réalisation de l'effort musculaire. C'est une bicyclette munie d'un dispositif assurant un freinage d'autant plus important que le travail demandé est plus intense. Un système de compensation permet d'obtenir du sujet un effort constant quelle que soit la vitesse de pédalage. L'importance de l'effort est traduite en watts. L'ergotest comporte également un compte tours qui permet de choisir une vitesse donnée et de la maintenir. L'appareillage est très simple: le sujet est installé en position couchée sur un petit matelas. Deux bras réglables lui permettent une prise de mains lui assurant un appui secondaire lors de l'effort. Ses épaules sont maintenues en place par des cales coulissantes et ses pieds sont fixés aux pédales par un petit système de

courroies.

2) Technique du pédalage.

Nous savons tous que les coureurs cyclistespédalent avec la partie antérieure de la plante du pied. Avec l'appareillage qui avait été mis à notre disposition, nous nous sommes aperçu que les étudiants préféraient pédaler avec la partie moyenne de la plante du pied. Nous avons demandé à ces étudiants d'avoir un pédalage continu, c'est à dire de ne pas se contenter de pousser alternativement leurs pédales, mais aussi de les tirer. Ainsi, lorsqu'un membre travaille en extension, l'autre travaille en flexion. L'effort a semblé mieux supporté avec cette technique.

3) Remarques

a - la position horizontale ne convient pas aux étudiants du C R E P S qui ont participé à cette épreuve. Tous auraient souhaité travaillé en position assise sur une machine très proche du vélo, c'est à dire avec un guidon et une selle.

b - Nous avons dit que le sujet était installé sur un matelas. Ce matelas est recouvert d'une matière plastique parfaitement imperméable si bien qu'au bout de quelques minutes d'effort, le sujet baigne dans sa sueur. L'interposition de plusieurs épaisseurs d'un drap de coton entre le matelas et la peau n'est pas suffisante pour remédier à cet inconvénient.

c - Les contacts électriques de cette machine ne sont pas protégés efficacement. Au cours d'une épreuve un étudiant du C R E P S suait abondamment : la sueur s'écoulant la long de la table finit par établir un court-circuit au niveau d'une connexion et l'installation électrique de la salle a été détériorée

d - L'ergotest que nous avions à notre disposition est une machine excessivement bruyante. Le travail dans ces conditions est très pénible et l'utilisation d'un poste radiophonique pour distraire les étudiants n'a jamais été possible du fait du niveau sonore trop élevé de la machine.

4 - L'auto-analyseur Technicon* : schéma N° 19

Le principe de fonctionnement de cet appareil est le suivant : Une pompe proportionnante est constituée par des galets qui écrasent longitudinalement les tubulures plastiques calibrées aspirant ainsi les différents liquides (échantillons à doser, liquide de dilution, réactifs) ainsi que l'air destiné à segmenter les colonnes liquides.

Les liquides passent tout d'abord dans un dialyseur. Celui-ci est constitué de deux compartiments séparés par une membrane de cuprophane. Cette membrane permet les échanges. La partie prélèvement s'appauvrit en constituants à doser au profit du compartiment de contre dialyse qui s'enrichit en composés qui vont être dosés.

A la sortie du dialyseur, la colonne liquide correspondant aux échantillons est rejetée. Celle des réactifs ayant capté la substance à doser traverse un bain-marie où la réaction chimique s'effectue.Puis le liquide passe dans un colorimètre qui mesure à une longueur d'onde définie les variations de densité optique du liquide.Ces variations sont transformées en variations de courant électrique grâce à deux cellules photoélectriques qui transmettent ces dernières à un enregistreur. Le délai entre la sortie du sang hors des vaisseaux et l'enregistrement de la glycémie est d'environ 6 à 7 minutes. La glycémie est dosée par la

* Compagnie Technicon, Route Nationale N° 1 - 95 - DORMONT - France

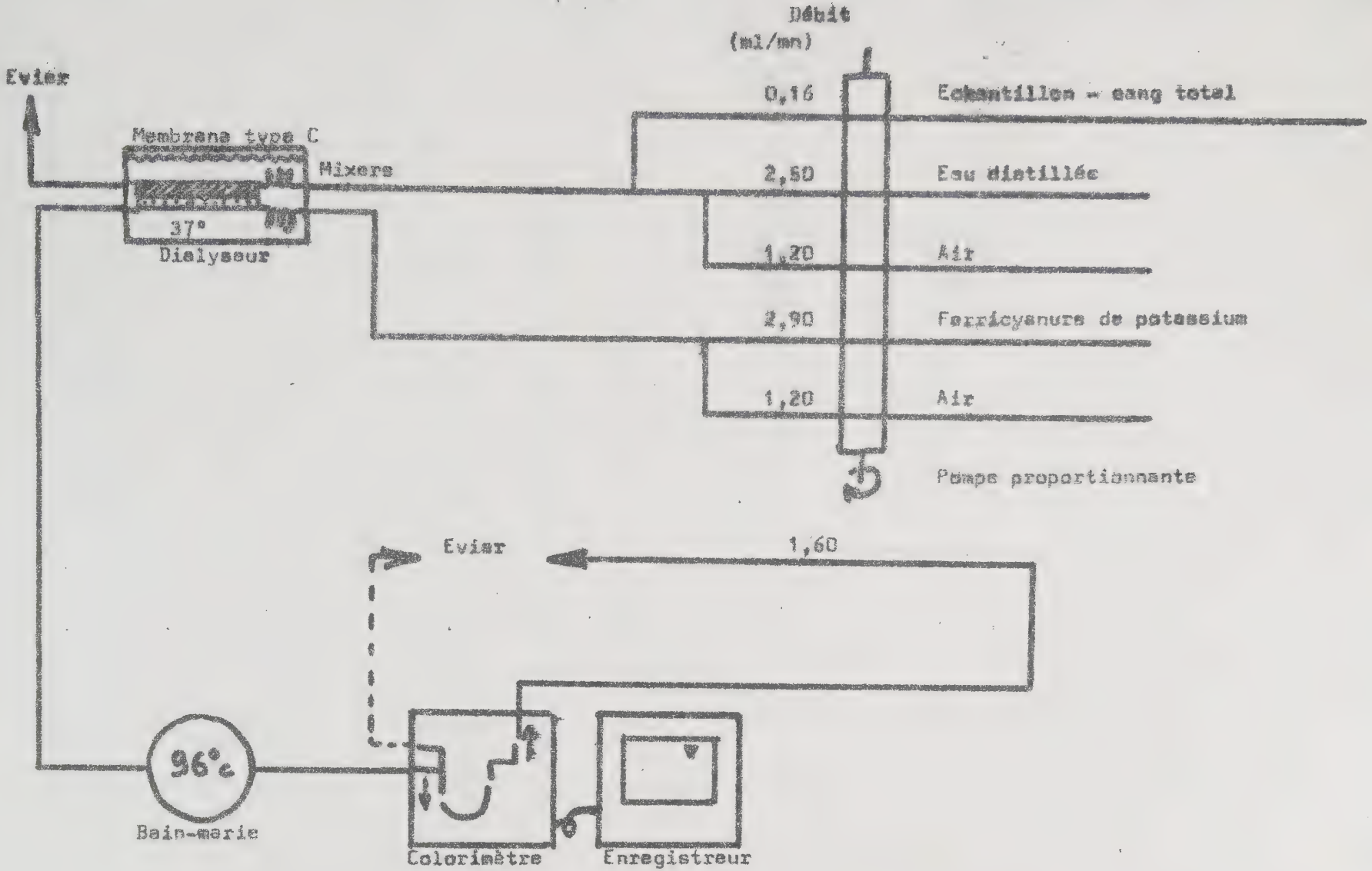


Schéma N° 19 - Glycémie - Schéma du montage

méthode de HOFFMAN (62) basée sur la réduction par le glucose en milieu alcalin du ferricyanure de potassium en ferrocyanure incolore. Une courbe d'étalonnage est établie avant et après chaque enregistrement. La lecture de la glycémie se fait par référence avec la courbe d'étalonnage. La quantité de sang prélevé a été d'environ 20 millilitres par heure avec les cathéters que nous avons utilisés. Les épreuves ayant duré au maximum 2 h 30. C'est une quantité maximum de 50 millilitres qui a été prélevée

Réactifs.

- Liquide de dilution

Héparine 250 mg	
Eau distillée 1000 ml	

- Réactif au ferricyanure

Ferricyanure de potassium	0,35 g
Carbonate de sodium anhydre	20 g
Chlorure de sodium	9 g
Eau distillée q.s.p.	1000 ml

Remarques concernant le dosage du glucose sanguin

Il peut y avoir de légères variations entre l'étalonnage effectué au début et celui effectué à la fin de l'épreuve. Nous avons noté pour notre part des variations de l'ordre de 6 %. Ces variations se font de façon progressive et lorsque nous lisons les valeurs de la glycémie sur le tracé, nous appliquons un facteur de correction calculé en fonction du temps. Une cause d'erreur pourrait résulter de la dilution du sang en milieu isotonique. En effet, le glucose sanguin dans l'auto-analyseur doit franchir la membrane de dialyse qui le sépare du réactif. Ce franchissement de la membrane est aisé pour le glucose plasmatique. Il est

retardé pour le glucose globulaire qui, avant d'arriver à la membrane dialysante doit traverser la paroi des érythrocytes. La différence entre la glycémie déterminée à l'auto-analyseur sur le sang total non hémolysé et celles déterminées dans les mêmes conditions sur le sang total hémolysé est estimé par AZERAD (4) à 8 %. On la supprime en diluant le sang par de l'eau distillée au lieu de sérum salé isotonique. On provoque ainsi une hémolyse, ce qui supprime l'obstacle des membranes érythrocytaires. C'est la méthode que nous avons employée d'emblée.

Remarques concernant l'auto-analyseur.

Ce matériel nous a donné satisfaction. Il faut noter toutefois deux incidents mineurs qui peuvent se produire au cours de l'épreuve. Le premier est la rupture de membrane du dialyse, le second est la coagulation du sang aux extrémités du cathéter. Lorsque la coagulation se produit à l'extrémité distale, il suffit le plus souvent de tirer ce cathéter de quelques centimètres pour voir à nouveau le sang arriver. Lorsque la coagulation se produit à l'extrémité proximale, il s'agit le plus souvent d'un cathéter de diamètre trop étroit.

L'aspiration du sang par l'auto-analyseur permet également de doser les Acides Gras Libres Plasmatiques. Ce dosage s'effectue selon la technique dérivée de celle d'ANTONIS (65)

Le principe en est le suivant : Les acides gras forment des savons de cuivre, solubles dans le chloroforme, qui peuvent être dosés grâce à la coloration jaune qu'ils fournissent en présence de dibenzyl dithiocarbamate de zinc. Le dosage des acides gras non estérifiés comprend trois parties.

1) L'extraction par l'éther isopropylique et l'élimination des phospholipides par adsorption sur l'acide silicique.

2) La formation de savons de cuivre.

3) L'évaluation colorimétrique.

On opère sur sérum ou plasma frais afin d'éviter l'hydrolyse des lipides susceptible de libérer des acides gras.

Réactifs utilisés.

- Acide silicique.
- Ether isopropylique pour analyse.
- Chloroforme pour analyse.

R 1 : Solution aqueuse de triethanolamine

- Triethanolamine 29,84 g
- Eau distillée q.s.p 100 ml

R 2 Acide acétique pour analyse 2 N

R 3 Solution aqueuse de nitrate de cuivre

- Nitrate cuivrique 9 g
- Eau distillée q.s.p 100 ml

R 4 Réactif cuivrique

- Solution de triethanolamine (R 1) 9 volumes
- Acide acétique 2 N (R 2) 1 volume
- Solution cuivrique (R 3) 10 volumes

R 5 - Solution chloroformique de dibenzyl dithiocarbamate de zinc à 0,2 %.

R 6 - Solution étalon d'acide palmitique à 0,3 m Eq/l dans l'éther isopropylique(PM acide palmitique = 256,4)

Solution mère : Acide palmitique 0,0769 g
: Ether isopropylique q.s.p 100 ml

Solution fille : Reprendre 10 ml et compléter à 100 ml avec l'éther isopropylique.

Technique

1) Extraction.

Dans un tube à centrifuger en verre, introduire :

Acide silicique : 1,2 g
Ether isopropylique : 7,5 ml

Agiter énergiquement pour imprégner l'acide silicique

Introduire : sérum ou plasma : 0,30 ml

Agiter énergiquement

Centrifuger pendant 5 minutes, à 4000 tours /mn.

Le surnageant constitue l'extrait isopropylique.

2) Formation des savons de cuivre et coloration

Extrait isopropylique 2,5 ml
Evaporation au bain-marie
Après refroidissement, redissoudre dans :
chloroforme 4 ml
Agiter pour dissoudre . Ajouter :
Solution cuivrique : 1 ml

Agiter énergiquement pendant 2 minutes. Centrifuger pendant 5 minutes à 4000 tours/mn. éliminer par aspiration le maximum de la phase surnageante colorée en bleu. Prélever à l'aide de la seringue 2 ml de la phase chloroformique.

Une gamme est préparée dans les mêmes conditions à partir de la solution étalon d'acide palmitique.

3) Lecture

Mesurer en cuve de 1 cm à la longueur d'onde de 440 mm, la densité optique pour chacun des tubes et reporter sur cette courbe la densité optique mesurée pour l'échantillon à doser. Le taux normal des acides gras non estérifiés est voisin de 0,5 m Eq/litre.

V) Le métabographe de FLEISCH *

Le métabographe que nous avons utilisé est un spirographe en circuit fermé et ventilé par une pompe à air.

Il possède un double spiromètre. En effet, la cloche spirométrique est divisée en deux parties formant ainsi une chambre d'inspiration et une chambre d'expiration distinctes. Une régulation de l'arrivée d'oxygène assure un pourcentage d'oxygène constant dans le circuit spirographique quelle que soit la demande d'oxygène par le sujet. La mesure directe du rejet du gaz carbonique est effectuée d'une façon continue. En effet, le gaz carbonique expiré par le sujet est absorbé par de la potasse caustique et sa mesure est basée sur la conductivité électrique de la potasse, laquelle dépend de son degré de neutralisation par le gaz carbonique. Le degré de neutralisation de la potasse est maintenu constant pendant la durée de l'examen par addition (réglée par un manipulateur) de potasse fraîche dès que le gaz carbonique expiré a fait varier la conductibilité de la potasse: la quantité de potasse fraîche ajoutée donne une mesure directe du rejet du gaz carbonique par le sujet.

Une régulation thermique maintient de façon constante la température du circuit spirographique à 20 degrés centigrades.

* Metabo - Epalinges - Lausanne (Suisse)

Un gazomètre mélangeur permet de faire varier de façon continue la teneur en oxygène de l'air inspiré par le sujet.

Le métabographe permet donc un enregistrement simultané du volume courant, du volume ventilé par minute, de la quantité d'oxygène consommée par minute, de la quantité de gaz carbonique rejeté par minute, de la fréquence respiratoire, de l'équivalent respiratoire et du quotient respiratoire.

Le sujet est relié au métabographe par un masque en caoutchouc laissant place au niveau des yeux à deux hublots d'un diamètre de 5 centimètres environ. Ce masque étanche enserre toute la face et des bandages élastiques postérieurs le maintiennent en bonne position. Schéma N° 20

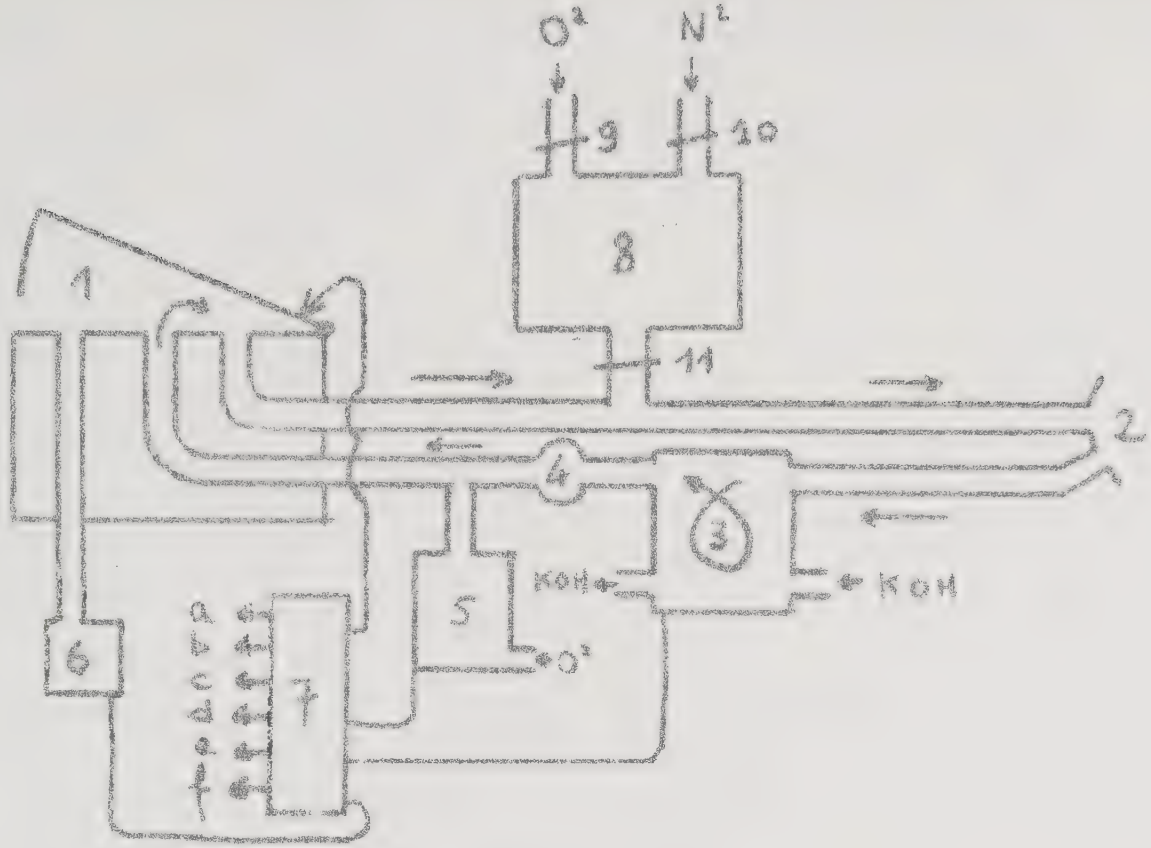
Remarques concernant le métabographe de FLEISCH

La pompe à potasse s'avère d'un maniement difficile et elle se dérègle facilement. Il est à souhaiter que l'addition de potasse fraîche puisse se faire de façon automatique.

Malgré une régulation thermique du circuit spirographique, les étudiants qui ont participé à ces travaux ont trouvé que l'air administré au repos était"trop frais"

Le masque en caoutchouc est conçu de telle sorte que son étanchéité n'est plus assurée lorsque le sujet porte la barbe. De ce fait les mesures sont erronées. Par ailleurs, lorsque le sujet sue abondamment, la sueur se localise volontiers à la partie externe de l'oeil et l'impression en est très désagréable.

Enfin les hublots semblent avoir été calculés trop étroitement. Durant tout son effort, l'étudiant est en position couchée et son champ



1 - Spiromètre
2 - Masque
3 - Absorption, mesure du CO^2
4 - Pompe
5 - Pompe à oxygène
6 - Fréquencemètre
7 - Kymographe
8 - Gazomètre mélangeur
9 - Arrivée d'oxygène
10 - Arrivée d'azote
11 - Soupape de mise en circuit du gazomètre

a - Quotient ou équivalent respiratoire
b - volume courant
c - Ventilation
d - Consommation d'oxygène
e - Rejet de gaz carbonique
f - Fréquence

Schéma N° 20

visuel est alors réduit à une petite surface de plafond, ce qui psychologiquement n'est pas très satisfaisant.

VI) Les cathéters

Les cathéters utilisés sont fabriqués par les Etablissements LABAZ* (Référence 0). Nous avons essayé d'employer des cathéters percutanés afin de rendre cette épreuve moins traumatisante mais malgré l'héparinisation préalable, nous avons toujours eu des ennuis de coagulation intempestive, soit au niveau de l'aiguille, soit au niveau des relais.

* Etablissements LABAZ - 33 - AMBARES - France

CH 2 : Déroulement de l'épreuve

1 - Etude du sujet au repos

Le sujet s'installe sur le matelas de la bicyclette ergométrique et recherche la position qu'il juge la plus confortable.

Nous procédons ensuite à la mise en place du catheter. Il est nécessaire de mettre en place le catheter avant l'enregistrement spirographique, ce dernier pouvant être troublé par la ponction veineuse .

Nous choisissons une grosse veine de l'avant-bras dans laquelle nous introduisons une grosse aiguille. Nous administrons ensuite une dose de 50 milligrammes d'héparine puis nous passons le catheter que l'on relie ensuite à l'auto-analyseur. Dès ce moment , la glycémie est enregistrée en continu. Nous n'avons jamais observé en procédant ainsi le moindre signe d'irritation veineuse ni la moindre hémorragie.

Pour doser les acides gras, nous débranchons de la tubulure de l'appareil l'extrémité libre du catheter pour pratiquer le prélévement de sang nécessaire. Cette extrémité est alors plongée dans l'eau héparinée afin que la membrane de dialyse ne se dessèche pas. Durant tout le temps que dure le prélévement, la glycémie n'est plus enregistrée. Ce temps est d'environ une minute.

Le sujet est ensuite relié au métabographe par le masque. Les paramètres ventilatoires sont alors suivis sur le papier enregistreur jusqu'à ce que l'état ventilatoire soit parfaitement stable, ce qui demande 5 à 10 minutes selon les sujets.

Cette façon de procéder constitue, si l'on veut, le temps préparatoire commun à toutes les épreuves.

2) Caractéristiques spécifiques à chaque épreuve

1 - L'épreuve de charge glucosée au repos.

A l'issue de ce temps préparatoire, nous retirons le masque et le sujet absorbe une quantité de glucose correspondant à 1 g par kilo de poids corporel. Cette quantité est dissoute dans environ 300 ml d'eau. Nous demandons au sujet d'ingérer cette solution assez rapidement, c'est à dire en une à deux minutes. Nous replaçons le masque et l'épreuve se déroule ensuite pendant soixante dix minutes.

2 - L'épreuve d'effort en normoxie et sans surcharge glucosée.

A l'issue du temps préparatoire, l'état ventilatoire étant stable, nous fixons les pieds du sujet aux pédales et nous demandons au sujet de pédaler. La puissance développée par le sujet, fixée à l'avance est atteinte en trois à quatre minutes. Le sujet pédale pendant la durée qui a été fixée ou jusqu'à épuisement. Lorsque l'effort est terminé nous continuons les enregistrements pendant 15 à 20 minutes.

3 - L'épreuve d'effort après ingestion de glucose est une combinaison des deux épreuves précédentes. En effet, après l'ingestion de glucose, nous attendons à nouveau dix minutes avant que le sujet ne commence son effort.

4 - L'épreuve d'effort en hypoxie.

Après le temps préparatoire, nous appauvrissons graduellement en oxygène l'air respiré pour atteindre une concentration en oxygène de 16 %. Le sujet ignore les modifications apportées à l'air qu'il respire. C'est sur une durée d'environ cinq minutes que s'effectue cette manoeuvre. Lorsque le mélange est réalisé, nous attendons encore dix minutes avant d'inviter le sujet à l'effort.

Techniques de mesure

1 - La mesure des dosages sanguins(glucose et A G L P a été décrite au chapitre précédent .

2 - La mesure des paramètres respiratoires s'effectue selon le protocole suivant :

En ce qui concerne la phase de repos qui dure 10 minutes, nous prenons la mesure des 5 dernières minutes, c'est à dire, en d'autres termes, la mesure des 5 minutes qui précèdent le temps suivant (surcharge glucosée - hypoxie ou effort) . Durant la phase d'adaptation à l'effort nous ne faisons aucune mesure et nous expliquerons pourquoi lors de l'interprétation des résultats. En ce qui concerne la phase d'équilibre durant l'effort, nous faisons une mesure moyenne des paramètres respiratoires durant 5 minutes au cours d'un intervalle de temps soit de 10 minutes, soit de 15 minutes. Par exemple, si nous calculons la mesure de ces paramètres avec un intervalle de temps de 15 minutes, nous notons essentiellement la moyenne des chiffres trouvés entre la 5ème et la 10 ème minutes. Durant la phase de récupération, les moyennes sont calculées entre la 10ème et la 15 ème minutes de la récupération.

3 - Nous devons ajouter une dernière remarque : Afin de pouvoir comparer les résultats entre les différentes épreuves, il nous a été nécessaire de faire coïncider la durée de l'effort. Par exemple, si dans un groupe donné, un sujet a pédalé durant 70 minutes alors que ses camarades ont arrêté leur effort à la 60ème minute, nous établissons nos résultats sur une durée de 60 minutes.

RESULTATS

Chapitre 1) Epreuve d'effort musculaire en normoxie.

Nous nous proposons :

1°) De caractériser les variations des paramètres respiratoires de la glycémie et des Acides gras libres plasmatiques au cours de l'effort musculaire d'intensité constante et de rechercher les éventuelles relations pouvant exister entre elles.

2°) D'étudier les variations de la glycémie en fonction de la puissance développée.

3°) De déterminer les variations de la glycémie à l'effort en fonction de la glycémie de départ.

4°) De déterminer les variations des paramètres respiratoires en fonction de la puissance développée, durant l'état d'équilibre.

5°) De comparer le comportement des sujets entraînés à celui des sujets non entraînés

A - Variations des paramètres respiratoires, de la glycémie, des acides gras libres plasmatiques. Relations entre ces diverses variations.

Sur les 42 sujets qui ont subi nos expériences, nous avons retenu les résultats de 29 d'entre eux. Ces 29 sujets se répartissent de la manière suivante :

- 13 sujets entraînés
- 16 sujets non entraînés

Si tous ont effectué une séance de pédalage sur bicyclette ergométrique, tous n'ont pas fourni le même effort puisque la puissance et la durée ont été différentes selon les cas. Six groupes de puissances différentes ont été constitués.

Constitution des groupes.

- 80 W - 5 sujets non entraînés dont une femme
  - Durée de l'effort { = 40 mn pour les hommes
    { = 30 mn pour la femme
- 100 W - 8 sujets dont
  - 6 sujets non entraînés - Durée 40 mn
  - 2 sujets entraînés - Durées 75 et 85 mn
- 120 W - 8 sujets dont
  - 5 sujets non entraînés - Durée 60 mn
  - 3 sujets entraînés - Durées 75 - 80 - 130 mn
- 150 W - 3 sujets entraînés - Durées : 25 - 40 - 80 mn
- 200 W - 3 sujets entraînés - Durées : 40 - 45 - 60 mn
- 250 W - 2 sujets entraînés - Durées : 15 - 65 mn

Pour établir les moyennes nous nous sommes basés sur la durée d'effort la plus faible dans chacun des groupes. Le tableau N° 4 rassemble les valeurs des paramètres respiratoires. Les résultats concernant les variations de la glycémie sont reportés aux tableaux N° 5 et N° 6. Les figures N° 21 et N° 22 en donnent la représentation graphique .

En ce qui concerne les Acides gras libres plasmatiques les résultats que nous présentons au tableau N° 7 et à la figure N° 23 appellent quelques commentaires.

Lorsque nous avons commencé notre thèse, nous nous étions fixé comme but d'étudier les variations des paramètres respiratoires et de la glycémie lors de l'effort musculaire chez les sujets entraînés et non entraînés. Il nous fût demandé, par la suite, d'étudier les variations des A.G.L.P. Or, à ce moment là, toutes les épreuves d'effort dans les conditions normales étaient déjà réalisées.

Nous avons donc repris nos expériences avec trois sujets non entraînés qui se sont présentés à jeun et à qui nous avons demandé de pédaler pendant une heure à la puissance de 120 watts. C'est pourquoi ces résultats sont incomplets.

Une remarque à propos des variations glycémiques de ces 3 sujets :

Si le taux de départ est plus faible (0,82 g/l) que le taux observé (1,01 g/l) chez les sujets non entraînés qui avaient pédalé à la même puissance (120 W) , la physionomie générale de la courbe reste la même. Nous considérons donc que ces résultats provenant d'un groupe surajouté sont valables.

- B) Variations de la glycémie en fonction de la puissance développée.

Il nous a semblé indispensable de tenir compte pour tous les groupes, des variations observées pendant une même durée d'effort. Nous

avons donc effectué nos calculs sur une durée de 30 minutes, temps réalisé par les groupes qui ont maintenu le pédalage le moins longtemps.

Nous présentons, pour chacun des groupes, les variations glycémiques à la trentième minute, en pourcentage de la glycémie de départ.

1°) Sujets non entraînés

- 80 W : - 3,4 %
- 100 w : - 16,6 %
- 120 W : - 15,8 %

2°) Sujets entraînés

- 100 W : - 12,1 %
- 120 W : - 13,7 %
- 150 W : - 4 %
- 200 W : - 9,4 %
- 250 W : - 15, 8 %

C - Variations de la glycémie en fonction de la glycémie de départ

Nous avons repris cette idée qui a fait l'objet de certaines recherches. Pour en réaliser l'étude nous avons réparti les sujets, à l'intérieur de chaque groupe, selon la valeur de leur glycémie de début d'effort:

1 - Sujets à glycémie inférieure ou égale à 1 g/l

2 - Sujets à glycémie supérieure à 1 g/l

Nous avons calculé et exprimé en pourcentage de la glycémie de départ, les variations observées au bout de 30 minutes.

Les résultats sont présentés au tableau N° 8

D - Variations des paramètres respiratoires en fonction de la puissance développée.

Tout en conservant les mêmes groupes de puissance nous avons

retenu , pour cette étude, les résultats de 33 sujets. Il s'agit de 18 sujets non entraînés et de 15 sujets entraînés répartis de la manière suivante :

1 - sujets non entraînés :

- 80 W - 5 sujets
- 100 W - 8 sujets
- 120 W - 5 sujets

2 - Sujets entraînés:

- 100 W - 2 sujets
- 120 W - 3 sujets
- 150 W - 3 sujets
- 200 W - 5 sujets
- 250 W - 2 sujets

Pour chacun des paramètres respiratoires nous avons utilisé les moyennes établies entre la 10ème et la 15ème minute d'effort.

Les résultats sont présentés aux tableaux N° 9 et N° 10 ainsi qu'aux figures N° 24,N° 25 et N° 26.

E - Comparaison sujets entraînés, sujets non entraînés.

Seuls les groupes 100 et 120 W comportent à la fois des sujets entraînés et des sujets non entraînés.

- Les résultats des paramètres respiratoires sont inclus dans les tableaux N° 9 et N° 10. La figure N° 27 représente les courbes de ventilation.

- Les variations glycémiques sont données dans le tableau N° 11.

Nous avons calculé en pourcentage de la glycémie de départ les variations observées :

Pour les groupes 100 W, à la 40ème minute d'effort

Pour les groupes 120 W, à la 60ème minute d'effort

80 W	parametres	Repos	10'	20'	30'	Récup.		
5 sujets non entraînés	$\dot{V}O_2$	0,25	1.22	1.32	1,42	0,31		
	$\dot{V}CO_2$	0,21	1.23	1,25	1,29	0.30		
	$\dot{V}$	7,8	34,3	39,5	42,3	9,7		
	QR	0,89	0,94	0,93	0,89	0,92		
	ER	30	26,8	28,8	29,6	31		
100 W	$\dot{V}O_2$	0,31	1.21	1,43	1,45	0,33		
6 sujets non entraînés	$\dot{V}CO_2$	0.31	1,30	1,35	1.36	0,33		
	$\dot{V}$	8,4	34,1	36,4	38,1	11,3		
	QR	0,98	0,94	0,95	0,99	1,26		
	ER	26,9	24,5	24,7	26.6	35,1		
		Repos	15'	30'	45'	60'	75'	Récup.
2 sujets entraînés	$\dot{V}O_2$	0,38	1,62	1,66	1,61	1,68	1,84	0,40
	$\dot{V}CO_2$	0,26	1,24	1,26	1,28	1,38	1,48	0,31
	$\dot{V}$	8	32,4	34	34,1	38	41.6	8,8
	QR	0,68	0,77	0,75	0,79	0,82	0,79	0,79
	ER	20,8	20,1	20,3	24	22,6	22,5	21,6
120 W		Repos	15'	30'	45'	60'	Récup.	
5 sujets non entraînés	$\dot{V}O_2$	0,29	1,64	1,65	1,71	1,78	0,34	
	$\dot{V}CO_2$	0,21	1,47	1,46	1,45	1,49	026	
	$\dot{V}$	7,5	42,5	43,5	43,8	45,2	8,8	
	QR	0,74	0,88	0.87	0,84	081	074	
	ER	26	25,6	25,9	25,5	24,6	25,6	
		Repos	15'	30'	45'	60'	75'	Récup
3 sujets entraînés	$\dot{V}O_2$	0,36	1,78	1,89	1,94	2.04	1.92	0,41
	$\dot{V}CO_2$	0,26	1.60	1.65	1,68	1,74	1,85	0,27
	$\dot{V}$	8,8	43.7	47,4	49,1	52,7	49,7	9,2
	QR	0,77	0,89	0,87	0,86	0,87	0,96	0,66
	ER	24,8	24,4	24,8	25	25,5	25,5	22,4

Tableau N° 4

150 W	paramètres	Repos	15'	30'	Récup.
3 sujets entraînés	$\dot{V}O_2$	0,34	2,53	2,70	0,34
	$\dot{V}CO_2$	0,23	2,13	2,02	0,23
	$\dot{V}$	8	71,3	77,4	10,4
	QR	0,69	0,86	0,80	0,69
	ER	23,4	28,2	28,9	30,3

200 W		Repos	10'	20'	30'	40'	Récup
5 sujets entraînés	$\dot{V}O_2$	0,38	2,03	3	3,1	2,78	—
	$\dot{V}CO_2$	0,28	1,50	2,46	2,58	2,76	—
	$\dot{V}$	9,5	63,1	86	87,5	85,7	—
	QR	0,66	0,86	0,84	0,84	1,08	—
	ER	24,9	26,1	28,3	28,8	32,2	—

250 W		Repos	15'	Récup
2 sujets entraînés	$\dot{V}O_2$	0,42	3,03	0,40
	$\dot{V}CO_2$	0,34	2,66	0,28
	$\dot{V}$	12,6	85,7	12,3
	QR	0,73	0,87	0,73
	ER	26,9	23,1	30,2

Tableau N° 4 (suite)

Puissance \ Temps	0	5'	10'	15'	20'	25'	30'	35'	40'	45'	50'	55'	60'	65'	70'	75'
80W - 5 SNE	0,87	0,86	0,88	0,85	0,84	0,84	0,84									
100W - 2 SE	0,99	0,97	0,95	0,91	0,89	0,87	0,87	0,87	0,88	0,87	0,86	0,84	0,82			
100W - 6 SNE	0,96	0,94	0,90	0,85	0,83	0,81	0,80	0,80	0,79							
120W - 3 SE	1,09	1,10	1,07	1,02	1,03	1,03	0,94	0,95	0,95	0,96	0,92	0,91	0,93	0,91	0,87	0,85
120W - 5 SNE	1,01	1,01	0,99	0,95	0,93	0,86	0,85	0,83	0,82	0,81	0,80	0,80	078			
150W - 3 SE	1	1,02	1	0,96	0,99	0,98	0,96									
200W - 3 SE	1,06	1,07	1,06	1	0,98	0,97	096	0,90								
250W - 1 SE	1,01	1,01	1,01	0,95	0,94	0,85	0,85	0,85	0,84	0,85	0,88	0,87	0,86	0,85		

Tableau N° 5 - Variations de la glycémie (g/l) à l'effort en normoxie

S N E = Sujets non entraînés

S E = Sujets entraînés

Temps / Puissance	Fin de l'effort	5'	10'	15'
80 W - 5 SNE	0,84	0,88	0,88	0,87
100 W - 2 SE	0,82	0,82	0,84	0,84
100 W - 6 SNE	0,79	0,87	0,86	0,86
120 W - 3 SE	0,85	0,99	0,95	0,92
120 W - 5 SNE	0,78	0,93	0,93	0,91
150 W - 3 SE	0,96	1,01	0,91	0,91
200 W - 3 SE	0,90	0,98	0,94	0,89
250 W - 1 SE	0,85	0,91	0,95	0,90

Tableau N° 6

Phase de récupération après effort en normoxie

variations de la glycémie (gramme par litre)

	Repos		Exercice													Récupération			
Glucose g/l	0,82	0,82	0,84	0,84	0,82	0,80	0,78	0,78	0,78	0,80	0,80	0,79	0,78	0,79	0,79	0,80	0,81	0,82	0,82
AGLP µEq/l	690	790		720	710	560	560	530	510	500	600	600	570	640	700	730	820	830	710
Temps mn	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	5	10	15	20

Tableau N° 7 : Variations de la glycémie et des A G L P au cours de l'effort musculaire dans les conditions normales :

3 sujets à jeun, non entraînés.

puissance	G départ	Nombre de sujets	Moyenne G Départ	Variations g/l	Variations en % de G de départ
80 W	G ⩽ 1	5	0,87	-0,03	-3,3%
	G > 1	0	/	/	/
100 W	G ⩽ 1	4	0,88	± 0,10	± 11,1%
	G > 1	4	1,07	- 0,20	-18,6%
120 W	G ⩽ 1	3	0,94	-0,14	- 14,6%
	G > 1	5	1,10	-0,13	-11,8%
150 W	G ⩽ 1	1	0,99	- 0,20	-22,2%
	G > 1	2	1,01	± 0,05	± 4,9%
200 W	G ⩽ 1	0	/	/	/
	G > 1	3	1,06	-0,04	- 3,7%
250 W	G ⩽ 1	0	/	/	/
	G > 1	1	1,01	-0,16	-15,8%

Tableau N° 8 : Variations de la glycémie en fonction de sa valeur de départ

- Dans les colonnes variations :

  - toutes les variations sont négatives.

  ± certaines sont négatives, d'autres positives.

Paramètres	80 W	100 W	120 W	150 W	200 W	250 W
$\dot{V}O^2$ l/mn	—	1,66	1,89	2,53	3,70	3,93
$\dot{V}CO^2$ l/mn	—	1,26	1,65	2,13	3,46	3,66
$\dot{V}$ l/mn	—	34	47,4	71,3	80 8	85,2
QR	—	0,75	0,87	0,86	0,90	0,87
ER	—	20,3	24,8	28,2	36,0	28,1
Nombre de sujets	0	2	3	3	5	2

Tableau N° 9 : Effort en normoxie : Sujets entraînés

Variations des paramètres respiratoires en fonction de la puissance.

Mesures effectuées entre la 10ème et la 15ème minutes d'effort.

Paramètres	80 W	100 W	120 W
$\dot{V}_{O_2}$ l/mn	1,47	1,40	1,51
$\dot{V}_{CO_2}$ l/mn	1,20	1,22	1,46
$\dot{V}$ l/mn	46,2	48,1	47,5
QR	0,90	0,93	0,87
ER	24,3	25,2	25,9
Nombre de sujets	5	8	5

Tableau N° 10 - Effort en normoxie : sujets entraînés

Variations des paramètres respiratoires en fonction de la puissance

Mesures effectuées entre la 10ème et la 15ème minutes d'effort.

		G de départ g/l	Variations en % de G de départ
100 W	Sujets Ent.	0,92	- 11,1 %
	Sujets non Ent.	0,96	- 14,5 %
120 W	Sujets Ent.	1,09	- 14 à %
	Sujets non Ent.	1,01	- 22,7 %

Tableau N° 11 - Variations de la glycémie à l'effort en fonction de l'entraînement des sujets.

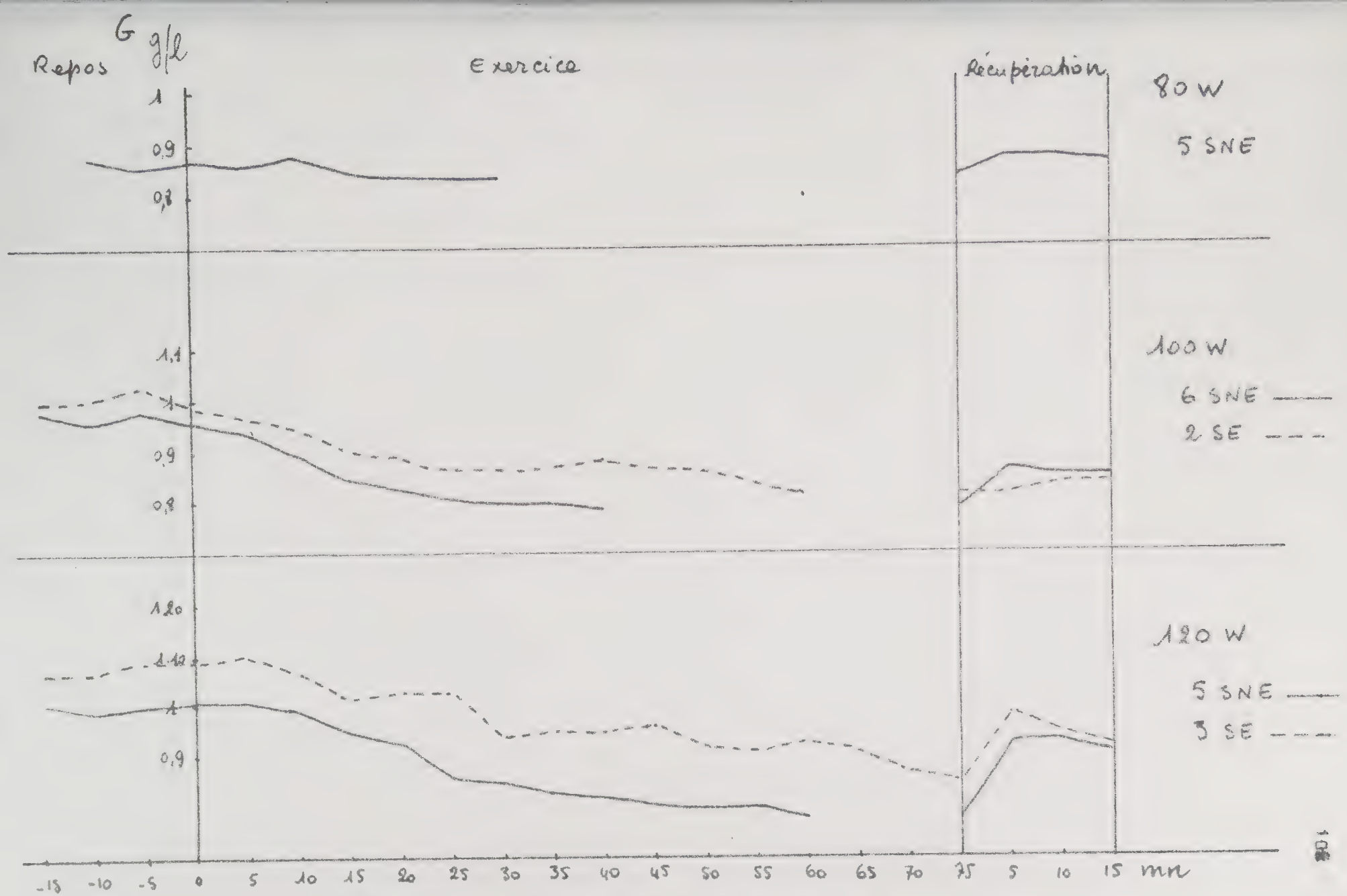


Figure n° 21 Glycémie à l'effort en normoxie

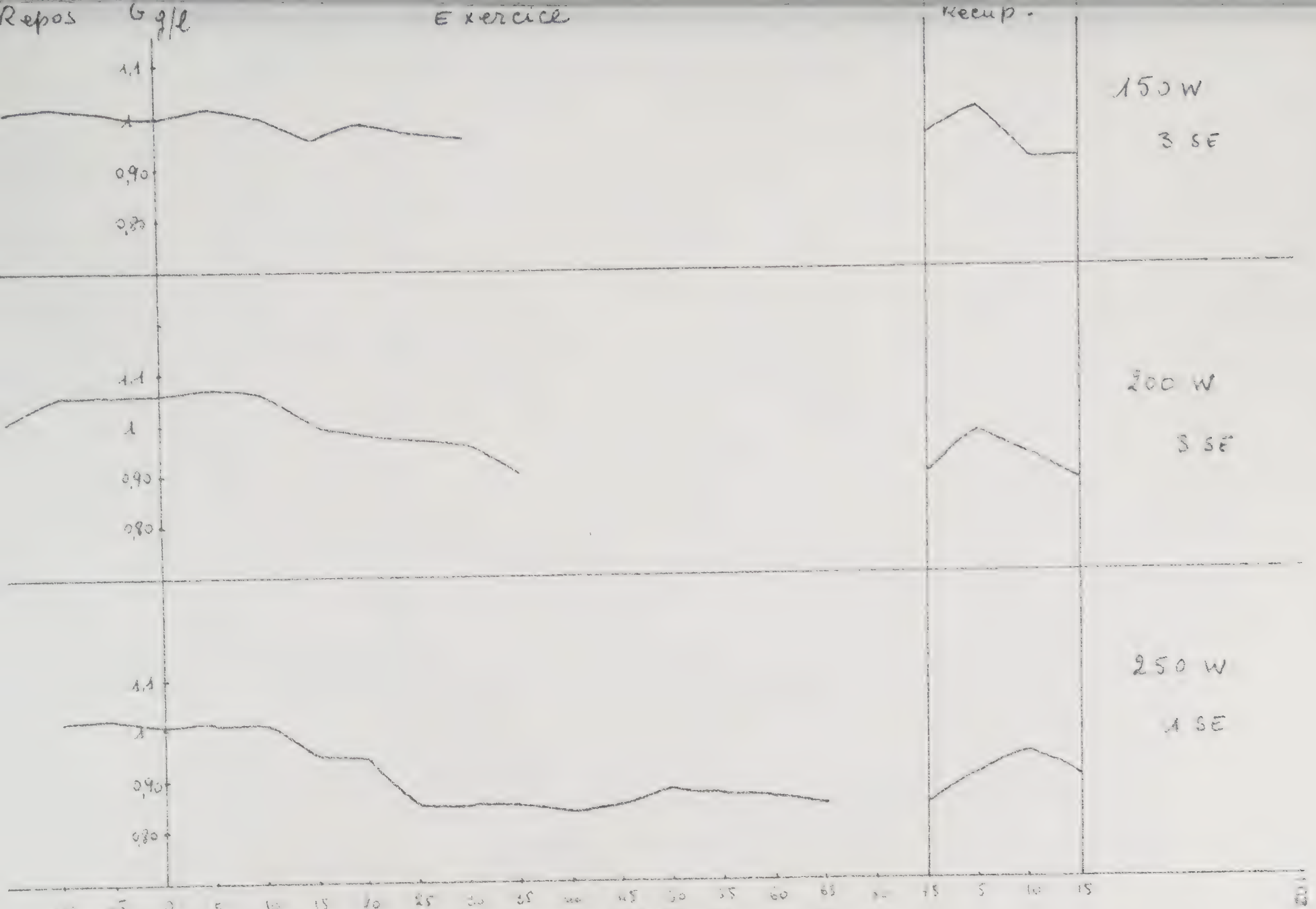


Figure 22 - Glycémie à l'effort en normoxie

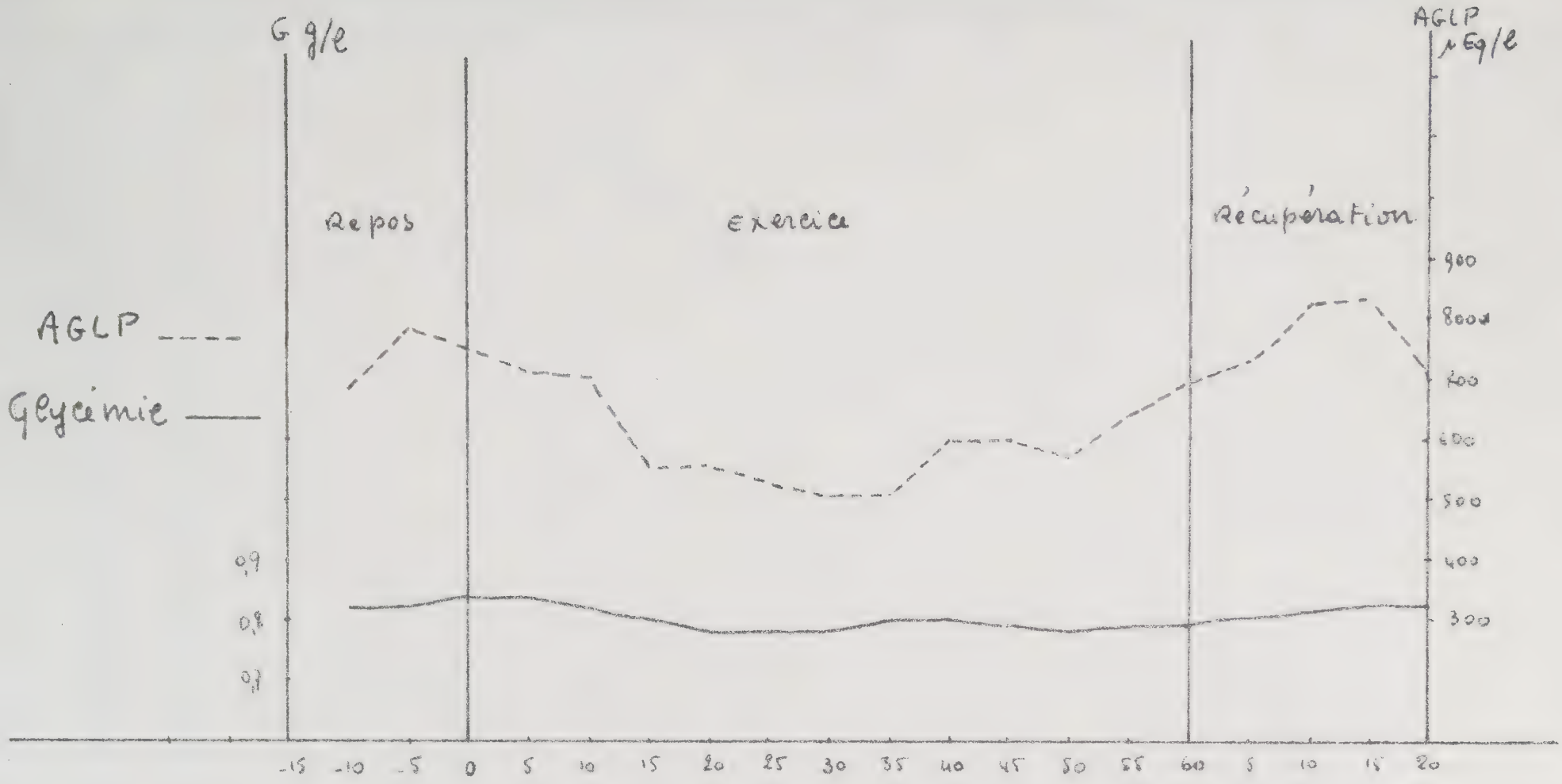


Figure 23 _ Variations comparées des taux de la glycémie et des A G L P lors d'un effort musculaire (P = 120 W)

3 sujets non entraînés.

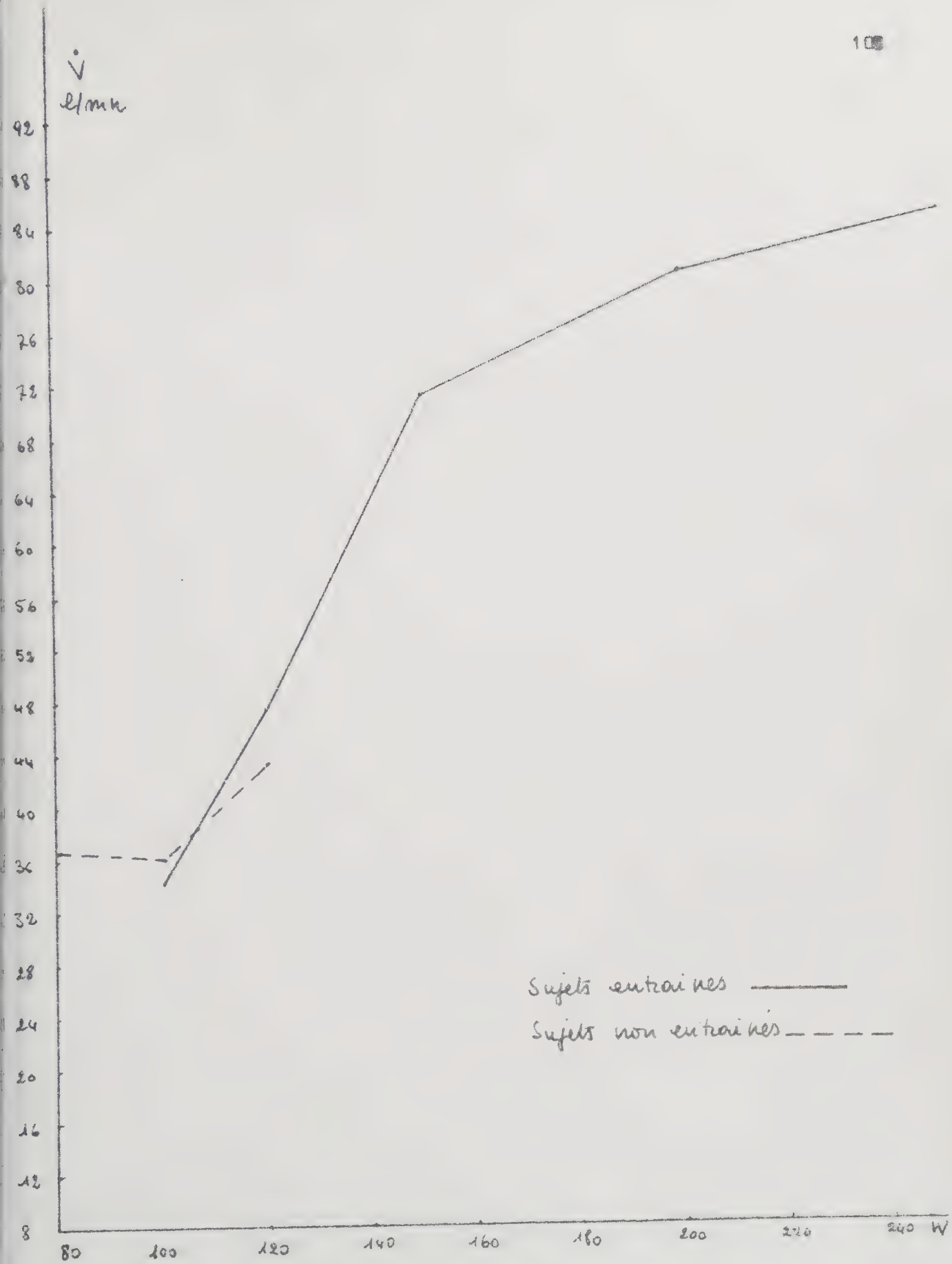


Figure 24 - Variations de la ventilation en fonction de la puissance de l'effort.

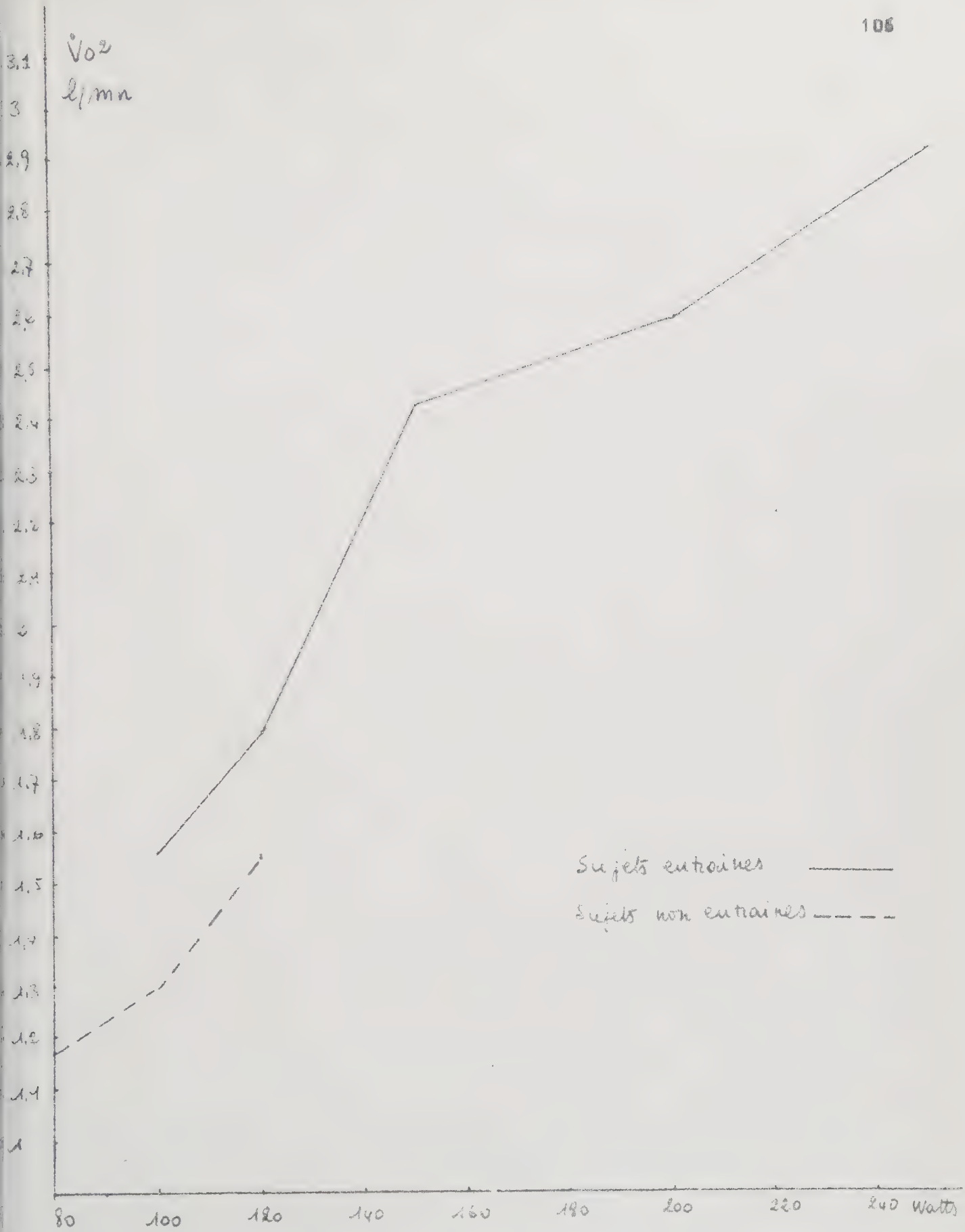


Figure 25 - Variations de la consommation d'oxygène en fonction de la puissance de l'effort.

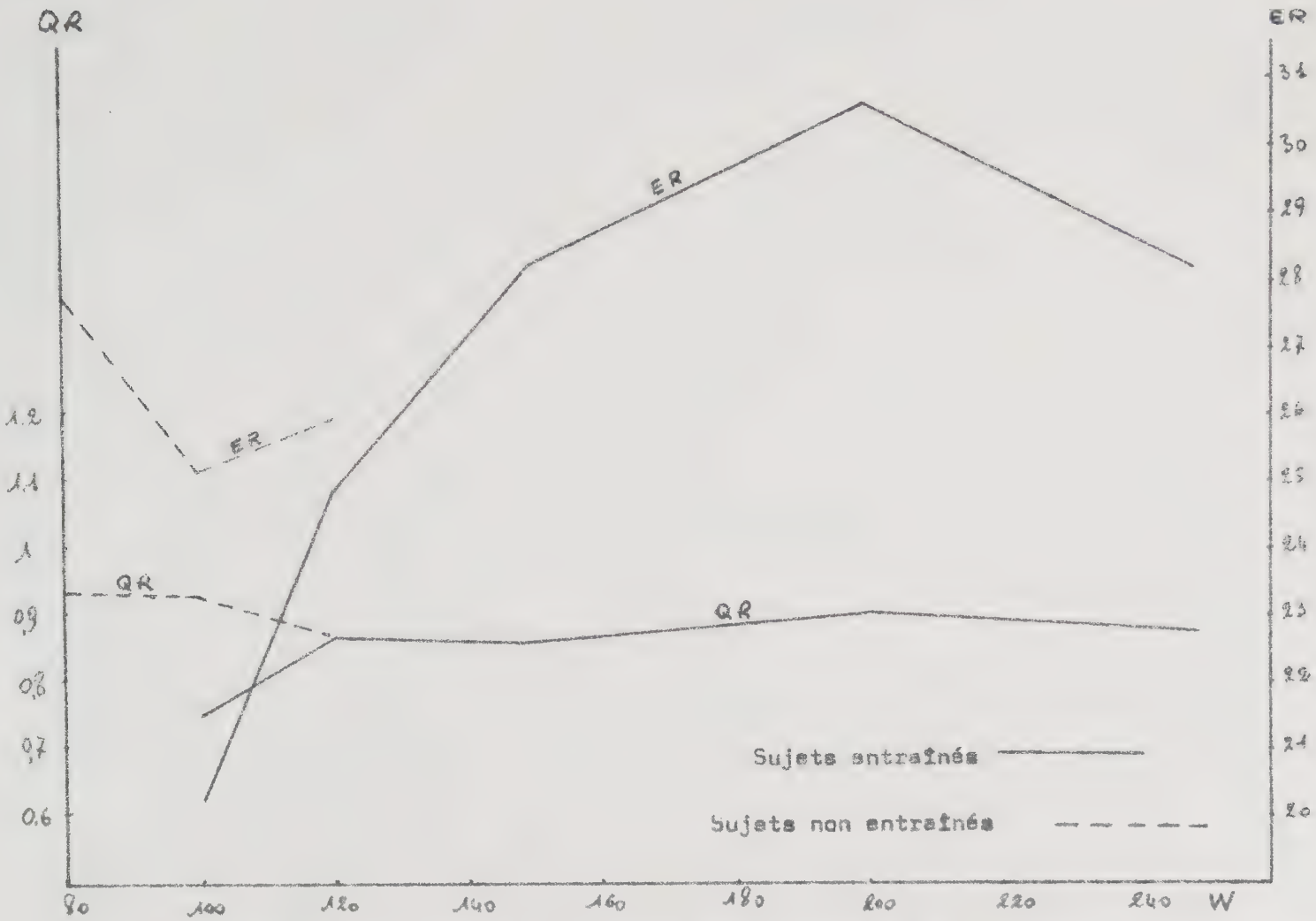


Figure 26 - Variations du quotient respiratoire et de l'équivalent ventilatoire en fonction de la puissance de l'effort.

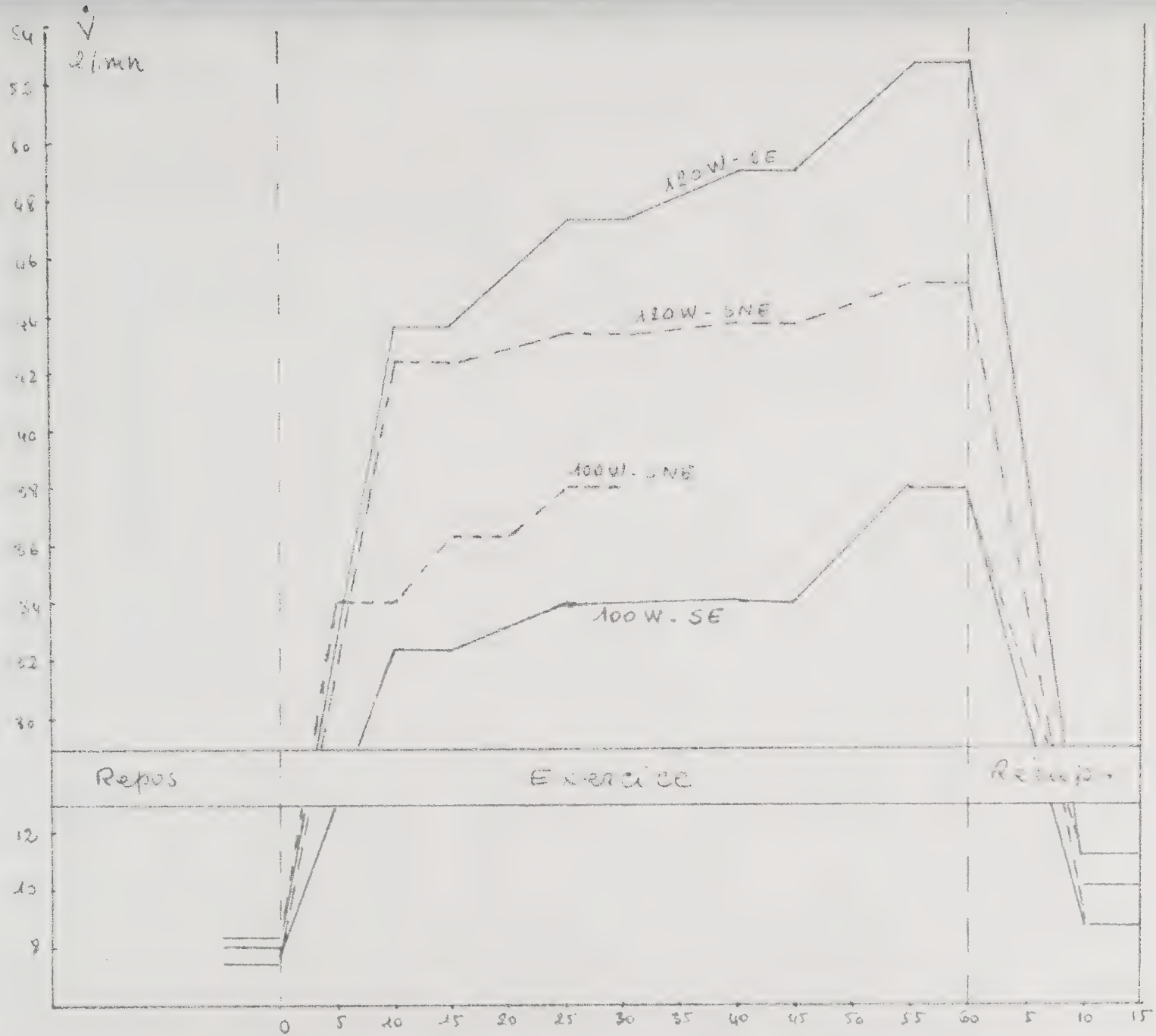


Figure 27 - Comparaison sujets entraînés, sujets non entraînés

Chapitre 2 : Epreuve de surcharge glucosée au repos

L'épreuve de surcharge glucosée au repos n'a pas été realisée pour établir de nouveaux critères de normalité mais simplement pour nous permettre de comparer les résultats enregistrés au repos et lors de l'effort musculaire et d'éliminer éventuellement des courbes d'allure paradiabétique.

Cinq sujets non entraînés ont participé à cette épreuve. L'un d'entre eux a été éliminé car il n'était pas à jeun. Le groupe I représente donc l'étude pratiquée sur 4 sujets.

Quatre sujets entraînés ont également participé à cette épreuve. L'un d'entre eux a été éliminé car il présentait une courbe d'allure paradiabétique. Le groupe II représente donc une étude pratiquée sur 3 sujets.

Notons tout de suite que les sujets non entraînés étaient à jeun alors que les sujets entraînés se sont présentés deux heures après le repas de midi.

La dose de glucose ingéré a été de 1 g par kilo de poids réel. Le poids des sujets s'échelonnait entre 63 et 77 kgs.

Les résultats sont résumés dans les tableaux N° 12 et N° 13 et les graphiques N° 28 et N° 29.

Variations de la glycémie et des A G L P

L'élévation de la glycémie est franche dès la 10ème minute et atteint environ 50% de la valeur maximale qui se situe vers la 40ème minute pour les 2 groupes.

Par rapport au taux de base, la glycémie à la 70ème minute est augmentée de 27% pour le groupe I et de 13% pour le groupe II.

Si l'on compare les courbes obtenues dans chaque groupe, on observe pour le groupe II une glycémie de départ plus élevée, une élévation plus franche, une descente plus rapide.

Le taux de départ des A G L P est de 850 micro Eq pour le groupe I et de 650 micro Eq pour le groupe II.

Ces taux dépassent les valeurs considérées habituellement comme normales.

Après l'ingestion de glucose, le taux des A G L P diminue rapidement pour atteindre au bout d'une heure un taux moyen de 320 micro Eq pour le groupe I et 290 micro Eq pour le groupe II, ce qui représente par rapport au taux de départ une chute de :

62 % pour le groupe I
55 % pour le groupe II

Durant toute la période de descente de la courbe glycémique, le taux des A G L P reste bas.

Les Paramètres respiratoires

Nous devons noter ici que si les sujets du Groupe I ont pu réaliser leur épreuve dans des conditions normales, ceux du Groupe II l'ont réalisée alors que le métabographe était en panne. Nous n'avons pas pu reporter "à une date ultérieure" car le temps des examens approchait et ces étudiants quittaient alors définitivement notre région. L'étude qui suit porte donc essentiellement sur des sujets du groupe I (chiffres moyens)

Les résultats en sont rapportés au tableau N° 14.

On trouvera les courbes figuratives des variations du Q R et de l'E R sur la figure 30.

Observations

Bien que la ventilation ne varie guère, la consommation d'oxygène va s'élever légèrement après l'ingestion de glucose, ce qui va entraîner une diminution de l'E R.

L'E R va remonter ensuite sans atteindre toutefois sa valeur de départ.

Le Q R présente des variations du même ordre

Glucose g/l	0,92	0,92	0,92	0,95	1,03	1,13	1,22	1,27	1,30	1,33	1,35	1,34	1,33	1,29	1,25	1,21	1,17
AGLP µEq/l		850		880			525			420				370			320
Temps - mn	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60

Tableau N° 12 - Variations de la glycémie et des A G L P chez 4 sujets à jeun - non entraînés - après ingestion de glucose (1g/Kg de poids)

Glucose g/l	1,02	1,05	1,05	1,07	1,10	1,20	1,33	1,44	1,52	1,58	1,61	1,60	1,53	1,46	1,37	1,27	1,16
AGLP µEq/l		630		850			595			400			290			290	
Temps mn	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60

Tableau N° 13 - Variations de la glycémie et des A G L P chez 3 sujets non à jeun - entraînés - après ingestion de glucose (1g/ kilo de poids)

$\dot{V}$ l/mn	7,0	7,7	7,9	7,1	7,3
$\dot{V}$ O_2 l/mn	0,27	0,31	0,30	0,28	0,29
EK	24,1	24,8	25,7	25,3	25,3
$\dot{V}$ CO_2	0,30	0,34	0,39	0,39	0,50
Temps mn	15	10	25	40	55

Tableau N° 14

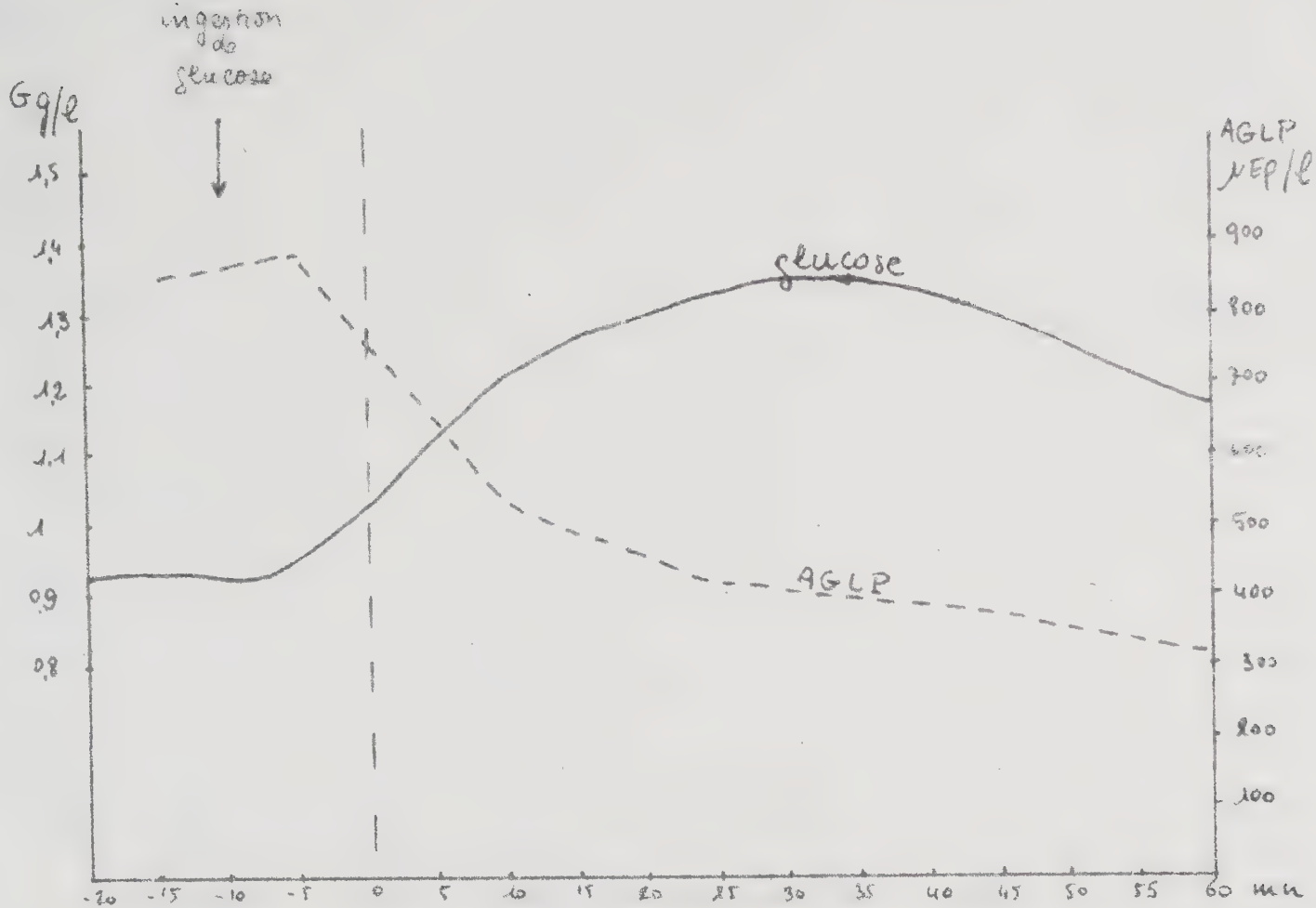


Figure 28 - Epreuve d'hyperglycémie provoquée par voie orale

4 sujets à jeun - non entraînés - Groupe I

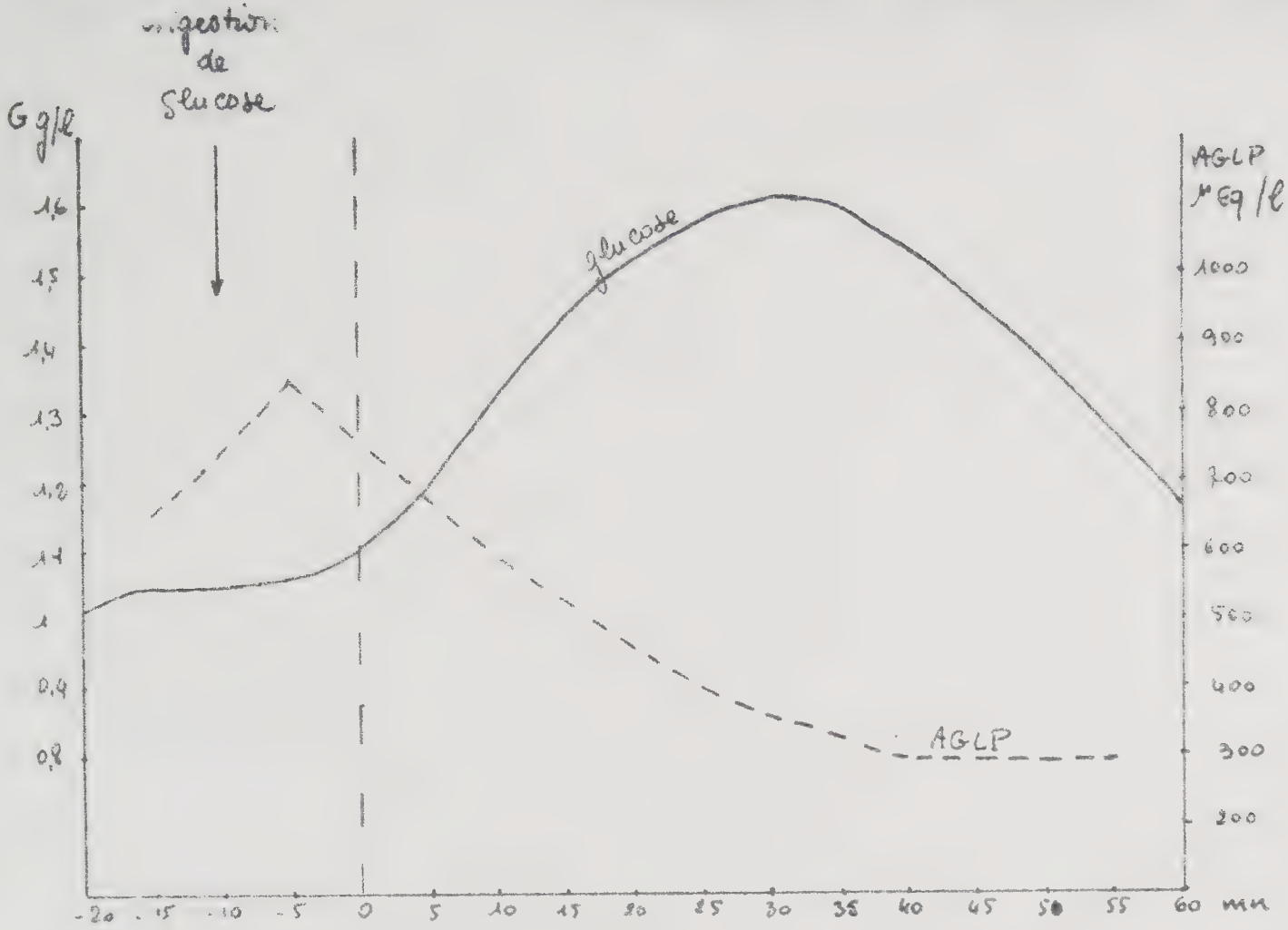


Figure 29 - Epreuve d'hyperglycémie provoquée par voie orale.

3 sujets non à jeun - Entraînés - Groupe II

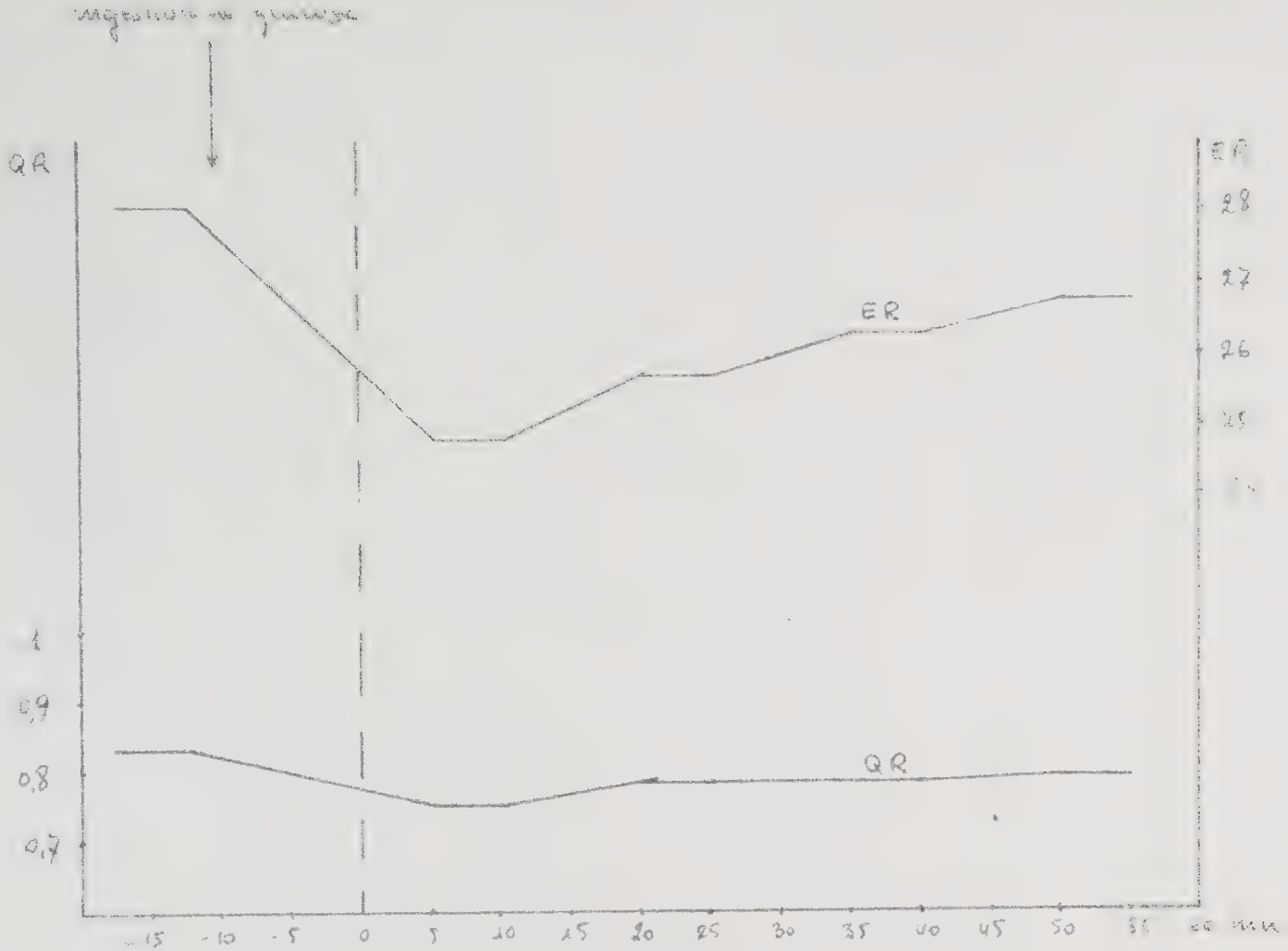


Figure 30 - Variations du Q R et de l'E R au cours de la charge en glucose-

4 sujets non entraînés à jeun - Groupe I

CHAPITRE 3 -

Epreuve d'effort après surcharge glucosée.

Cinq sujets non entraînés ont participé à cette épreuve. Un a dû être éliminé à cause des chiffres aberrants donnés par le métabographe. Cet étudiant en effet portait une barbe, et le masque n'était plus étanche. Quatre sujets entraînés ont participé à cette épreuve. L'un d'entre eux n'ayant pas supporté l'épreuve a été éliminé.

Cette étude porte donc sur 4 sujets non entraînés et 3 sujets entraînés.

Les sujets non entraînés ont tous pédalé à 120 Watts.

Pour les sujets entraînés :

Un a pédamé à 100 Watts
Un a pédalé à 150 Watts
Un a pédalé à 250 Watts.

Tous les sujets ont déclaré à l'issue de cette épreuve qu'ils étaient aussi fatigués que lors de l'épreuve normale, laquelle s'est déroulée à la même puissance afin de pouvoir comparer les résultats.

Tous nos résultats sont résumés dans les tableaux 15-16-17-18 et exprimés dans les figures 31 à 39 où nous avons fait paraître les résultats des épreuves normales afin de pouvoir établir des comparaisons.

Observations

1) Nous désignerons par le Groupe I les sujets non entraînés et par le Groupe II les sujets entraînés.

2) Glycémie

L'élévation de la glycémie se situe à la 5ème minute pour les 2 groupes.

La valeur maximum mesurée se situe à la 15ème minute pour les 2 groupes.

Par rapport au taux de départ, la glycémie s'élève de 28% environ pour les deux groupes.

A la fin de l'effort, la glycémie est pratiquement revenue à son taux de base dans les deux groupes.

Au cours de la période de récupération, la glycémie des 2 groupes remonte franchement.

On observe au total une assez grande similitude dans les 2 groupes.

3 - A G L P

Le taux de départ des A G L P est de 920 micro Eq/l pour le groupe I et de 580 micro Eq/l pour le groupe II.

Au cours de l'effort, le taux des A G L P diminue jusqu'à la 40ème minute pour le groupe I et il se stabilise ensuite. Pour le groupe II, il diminue jusqu'à la 25ème minute et il remonte légèrement ensuite.

Durant la phase de récupération, ce taux reste stable pour le groupe I mais il remonte légèrement pour le groupe II;

4) Les paramètres respiratoires.

La ventilation montre un bon état d'équilibre pour le groupe I alors qu'il n'en est rien pour le groupe II.

La consommation d'oxygène est assez stable pour le groupeI. Elle s'élève progressivement pour le groupe II,

On note une baisse du Q R après l'ingestion de glucose, une élévation nette dès l'effort et une stabilité ensuite tout au long de l'effort. Ces remarques sont valables pour les deux groupes.

L'E R est stable ou en très légère baisse pour le groupe I. Par contre, après une nette diminution après l'ingestion de glucose, il est en constante augmentation tout au long de l'effort pour le groupe II.

Glycémie	Repos	0,98	0,98	0,98	0,95	1,03	1,03	1,12	1,27	1,50	1,33	1,35	1,34	1,33	1,29	1,25	1,22	1,17			
	Effort	0,97	0,97	0,98	1	1,14	1,20	1,25	1,25	1,23	1,12	1,14	0,98	0,98	0,96	0,91	0,95	1	1,09	1,16	1,15
Temps mn		0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285
AGLP	Repos		350		390			515			420				320			280			
	Effort		320		310			700			640			460			480				480

Tableau N° 15 - Comparaison des courbes de glycémie et A G L P après hyperglycémie provoquée par voie orale (Epreuves au repos et à l'effort)
4 sujets non entraînés.

Glycémie	Repos	1,01	1,05	1,05	1,04	1,10	1,20	1,33	1,44	1,52	1,58	1,61	1,60	1,53	1,46	1,37	1,27	1,16			
	Effort	1,05	1,05	1,04	1,05	1,00	1,13	1,26	1,34	1,31	1,25	1,17	1,10	1,08	1,04	1,03	1,02	1,02	1,04	1,07	1,13
Temps mn		0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285
AGLP	Repos		430		450			595			400			290			290				
	Effort		540		440			810			570			320		290		400			440

Tableau N° 16 - Comparaison des mêmes paramètres - 3 sujets entraînés.

$\dot{V}$ l/mn		6,1					5,3			5,3			7,9			6,9				9,7
		3,4		4,2			5,2			5,2			6,8			6,2				8,4
$\dot{V}O_2$ l/mn		0,34					0,42			0,43			0,45			0,37				0,38
		0,38		0,40			0,48			0,41			0,47			0,40				0,36
Q R		0,67					0,87			0,82			0,90			0,86				0,96
		0,77		0,72			0,84			0,84			0,85			0,85				0,87
E R		23,5					25,4			24,5			24,9			26				25,4
		26,6		25,1			25,8			26,6			27			25,1				26,6
Glycemie g/l	1	1,01			1,01	1,02	1,02	0,98	0,96	0,91	0,89	0,89	0,88	0,87	0,86	0,87	0,87	0,91	0,91	0,93
	1,05	1,05	1,07	1,10	1,10	1,08	1,06	1,04	1,04	0,98	1,02	1,00	1,03	1,04	1,04	1,02	1,02	1,04	1,02	1,01
AGLP mEq/l																				
		580		440			330			290			340		290		300			420
Temps mn	-30	-15	-10	-5	3	5	10	25	30	35	30	35	40	45	55	60	90	105	120	135

Tableau N° 17- Epreuve d'effort après hyperglycémie provoquée par voie orale chez 7 sujets entraînés. Comparaison des chiffres obtenus avec ceux de l'épreuve d'effort dans des conditions normales. (chiffres du haut)

$\dot{V}$ l/mn		6,1					4,07			4,2			4,2,2			4,3,3				8,5
		7,35		8,20			4,24			4,17			4,3			4,1,1				9,3
$\dot{V}o^2$ l/mn		0,47					1,01			1,03			1,06			1,16				1,32
		0,29		0,43			1,08			1,04			1,05			1,11				0,56
QR		0,80					0,84			0,87			0,82			0,80				0,98
		0,81		0,89			0,88			0,85			0,84			0,82				0,93
EK		21,0					25,2			25,0			24			24,1				26,3
		22		24,1			25,3			25,2			24,9			24,6				27,1
Glycémie g/l	1	1			1,01	1,01	0,99	0,95	0,95	0,86	0,85	0,83	0,82	0,81	0,80	0,80	1,10	1,85	1,85	0,95
	0,97	0,98	0,98	1	1,17	1,20	1,15	1,12	1,13	1,18	1,04	0,98	0,93	0,94	0,98	0,98	1	1,09	1,14	1,13
AGLP µEq/l																				
		920		810			700			640			460			480				460
Temps min.	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	5	10	15

Tableau N° 18 - Epreuve d'effort après hyperglycémie provoquée par voie orale chez 4 sujets non entraînés. Comparaison des chiffres obtenus avec ceux de l'épreuve d'effort dans des conditions normales.(chiffres du haut)

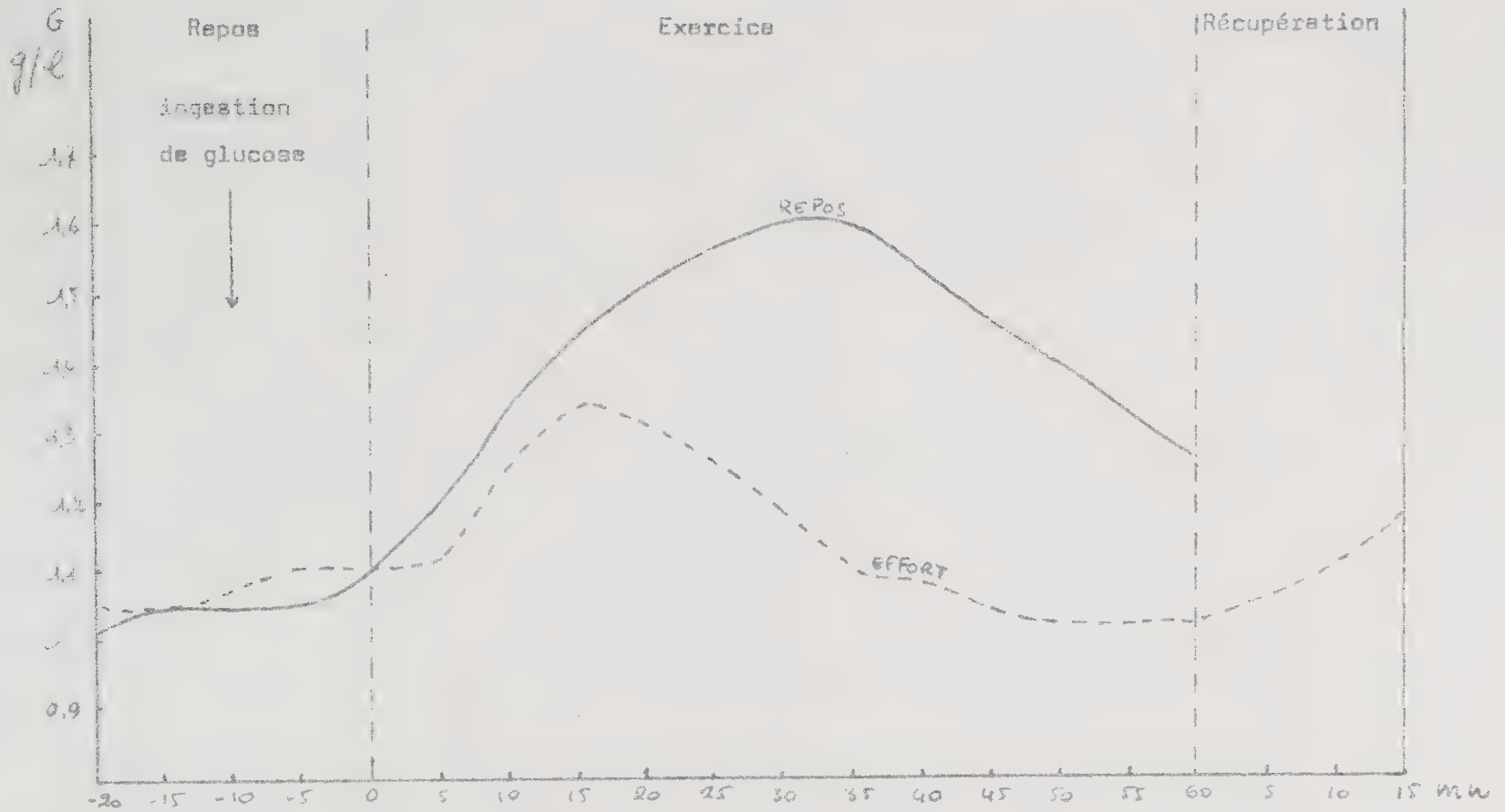


Figure N° 31 - Courbes comparatives des épreuves d'hyperglycémie

Sujets entraînés (après repas) Groupe II

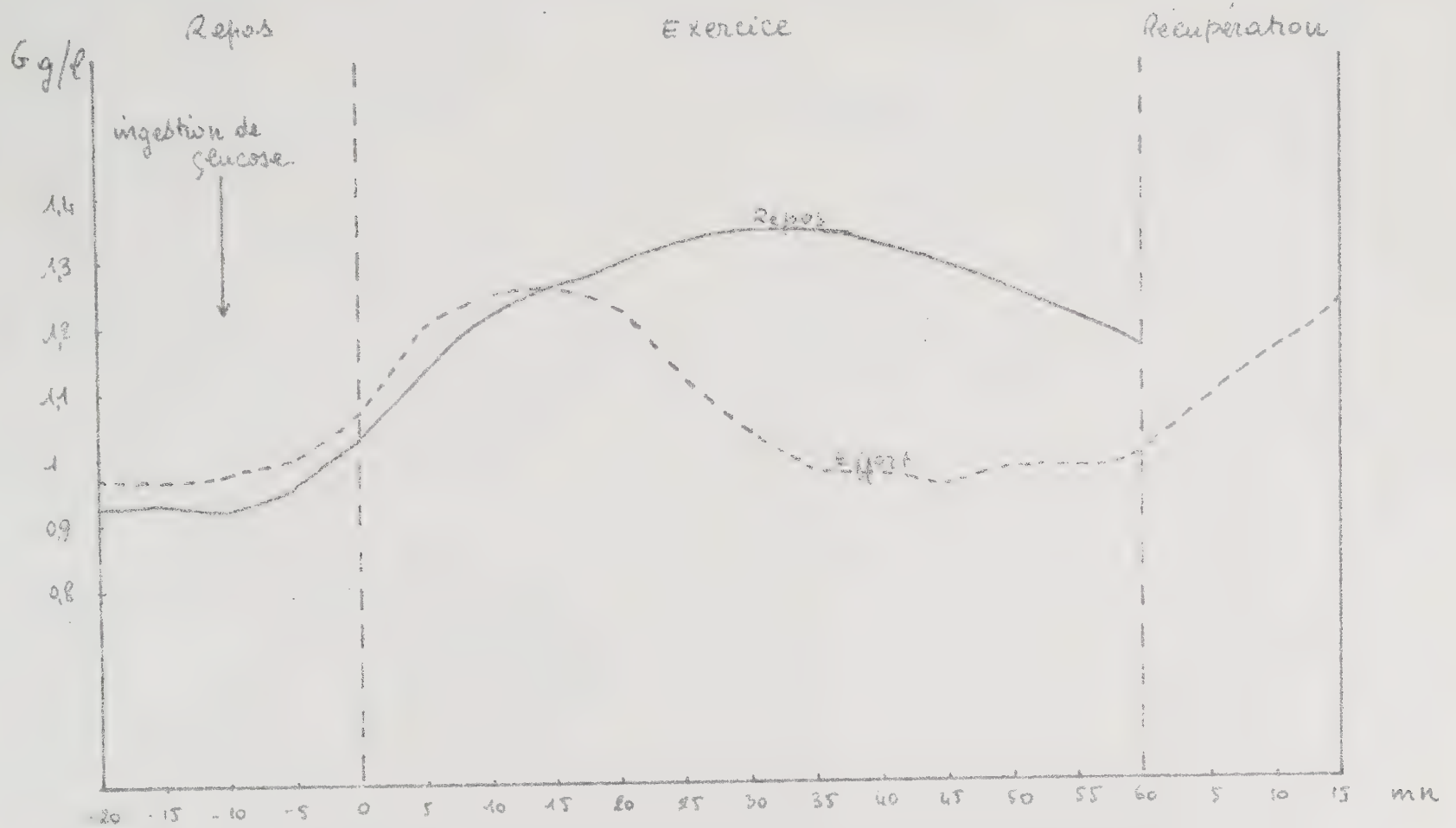


Figure N° 32 - Courbes comparatives des épreuves d'hyperglycémie

Sujets Non Entraînés (à jeun) Groupe I

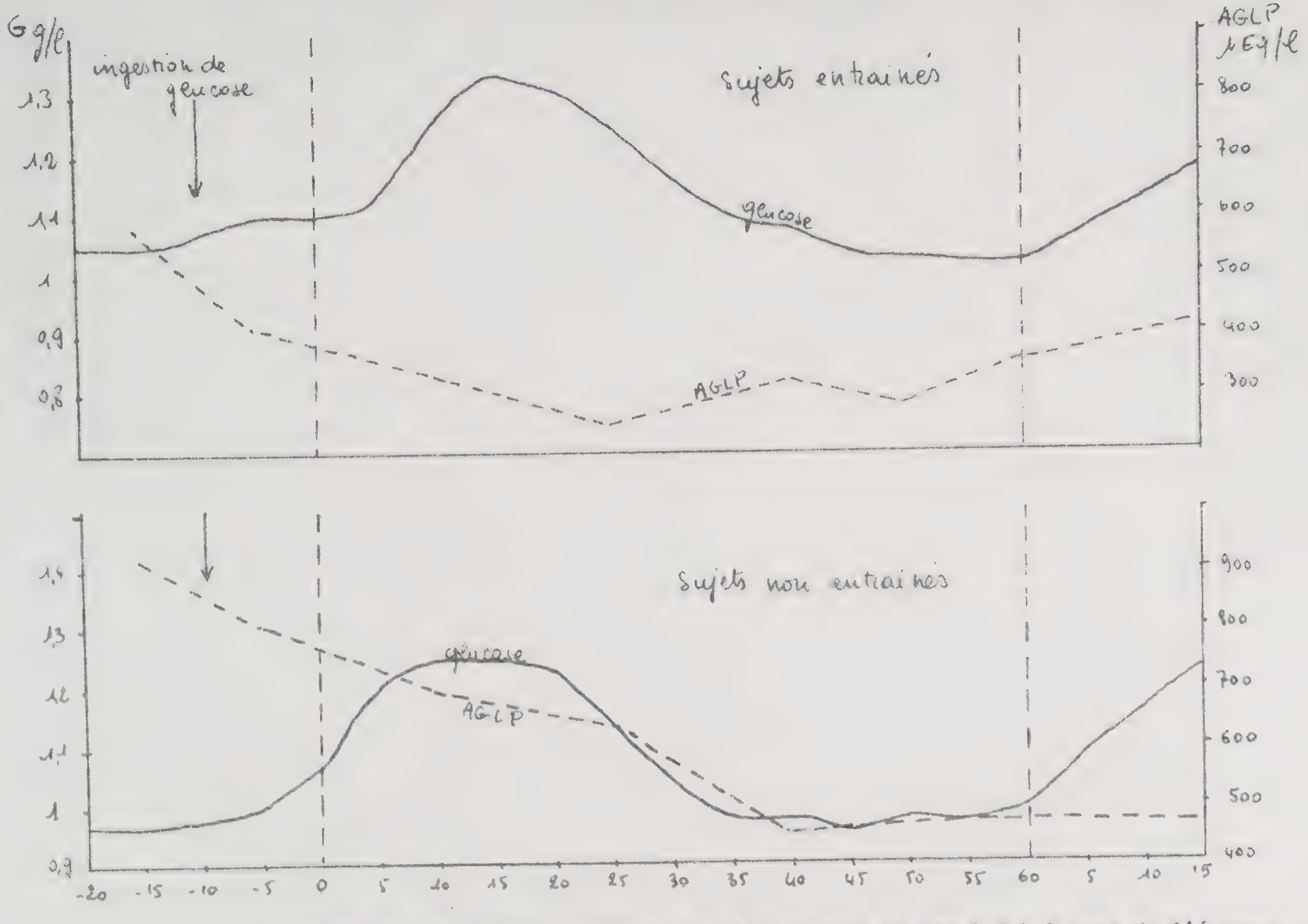


Figure N° 33 - Variations comparées de la glycémie et des A G L P lors de l'épreuve d'effort après surcharge glucosée.

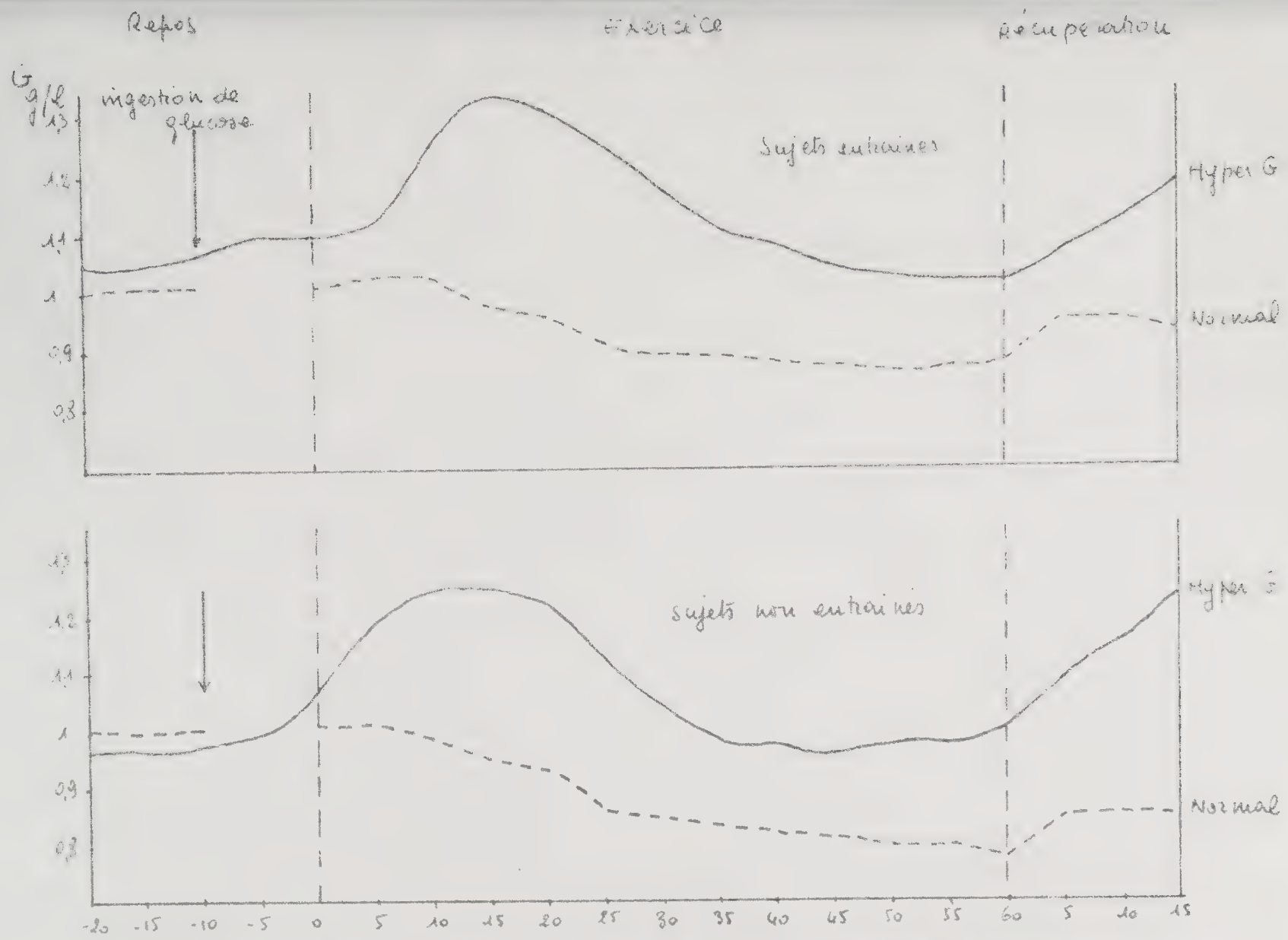


Figure N° 34 - Variations comparées de la glycémie lors de l'effort musculaire.

Epreuve normale -
Epreuve de charge en glucose -

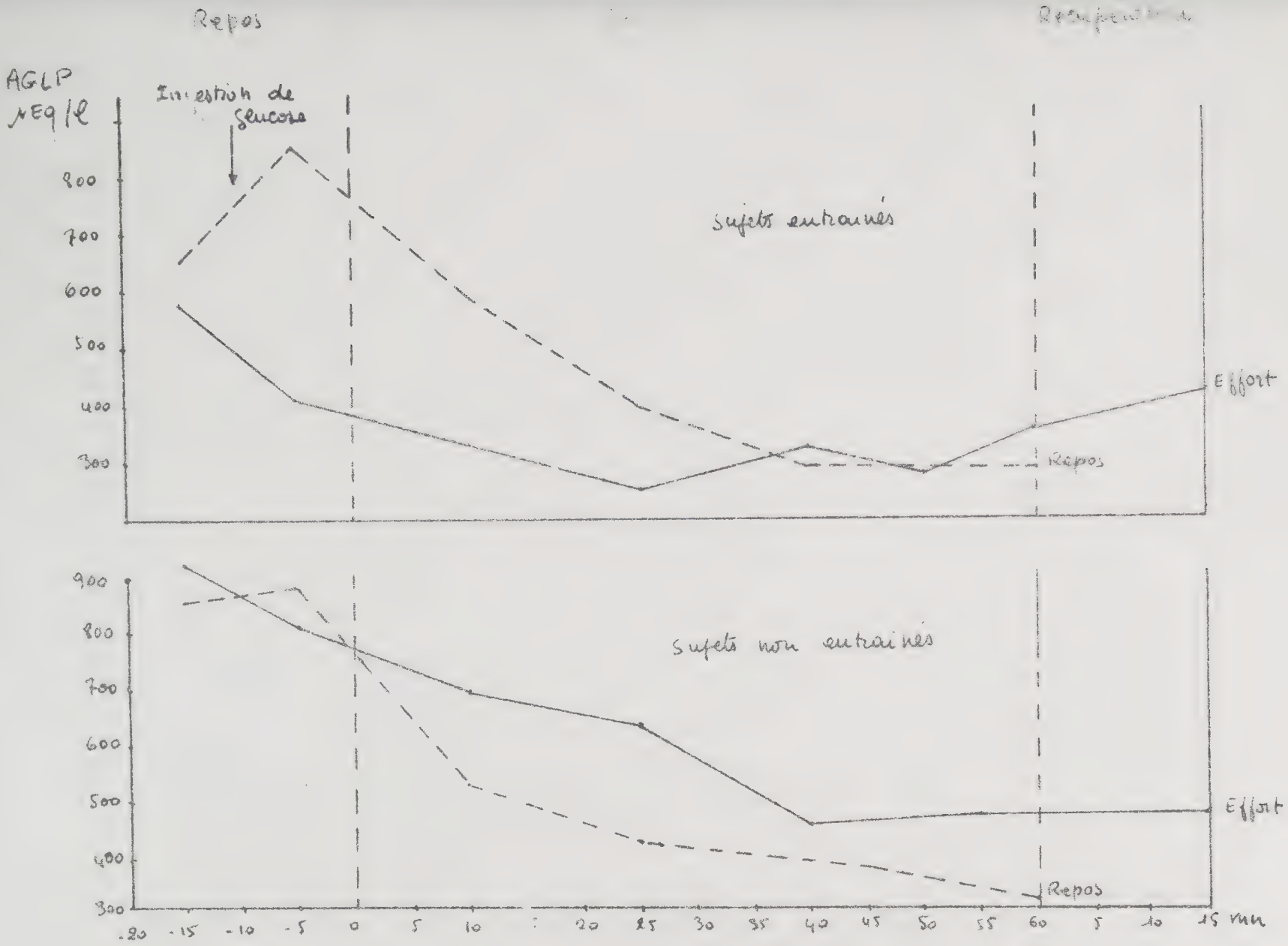


Figure 35 - Variations comparées du taux des A G L P dans les épreuves de charge en glucose { Effort / Repos

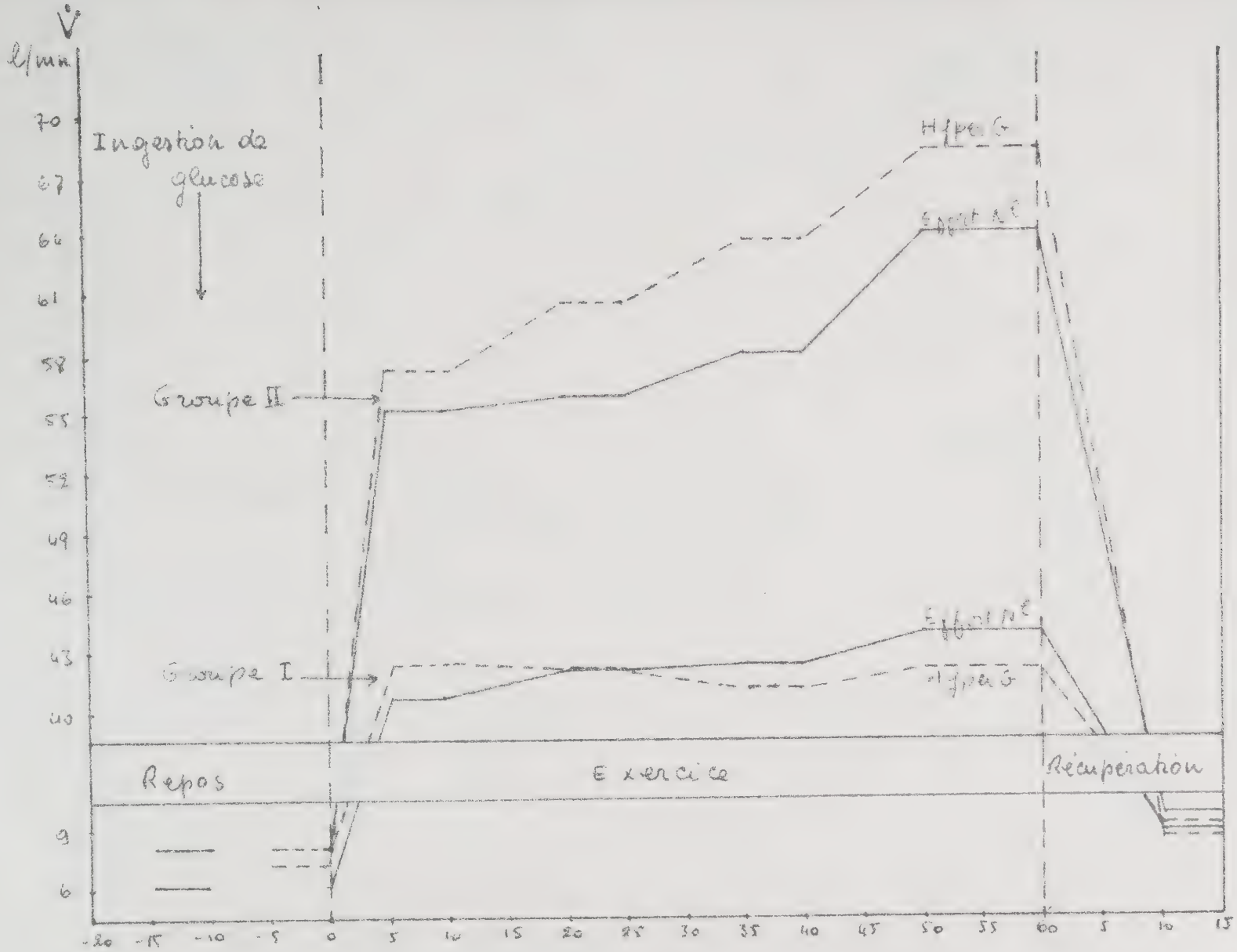


Figure N° 36 - Variations comparées de la ventilation pulmonaire

- effort normal
- effort après charge glucosée.

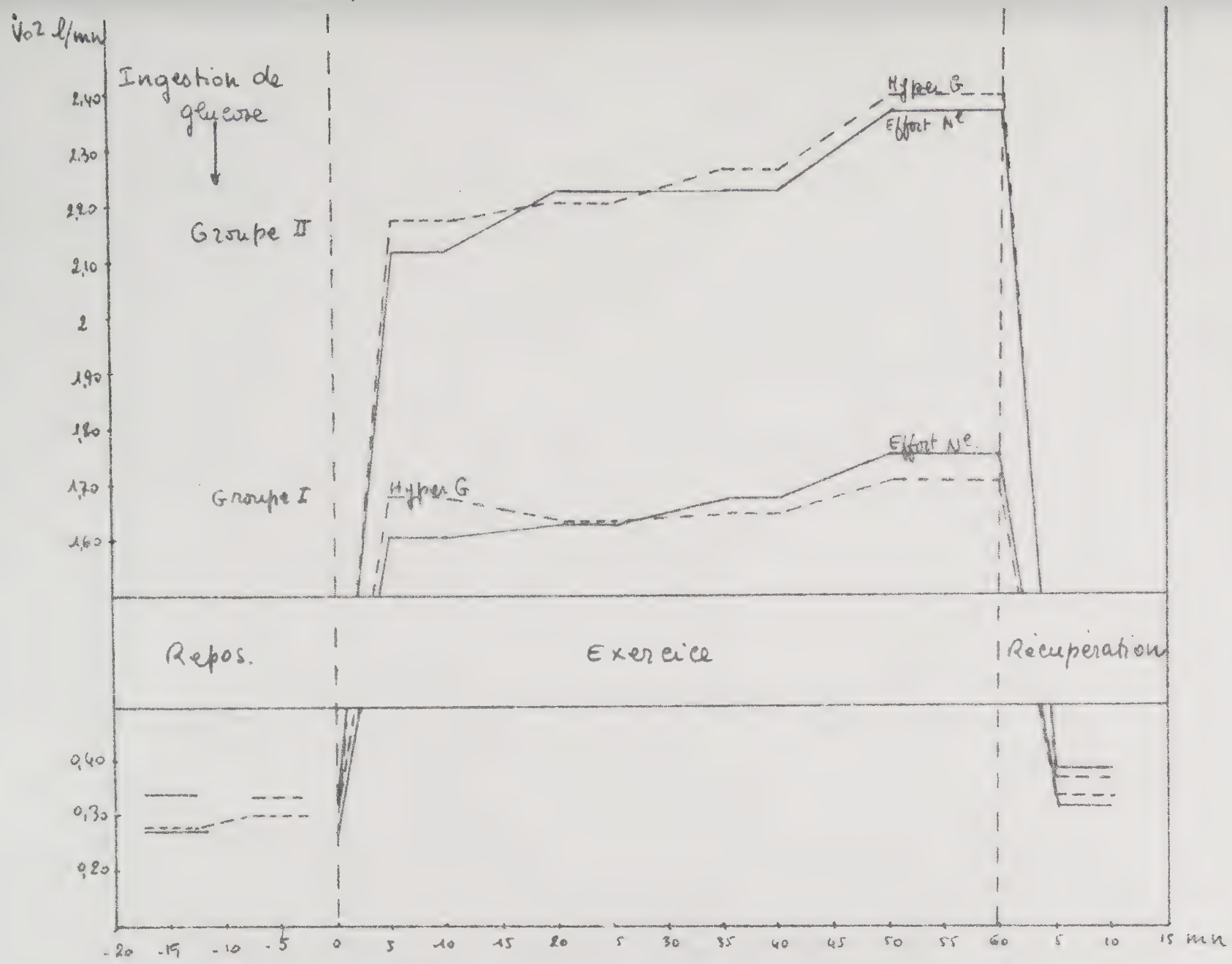


Figure 37 - Variations comparées de la consommation d'oxygène
- effort normal
- effort après charge en glucose

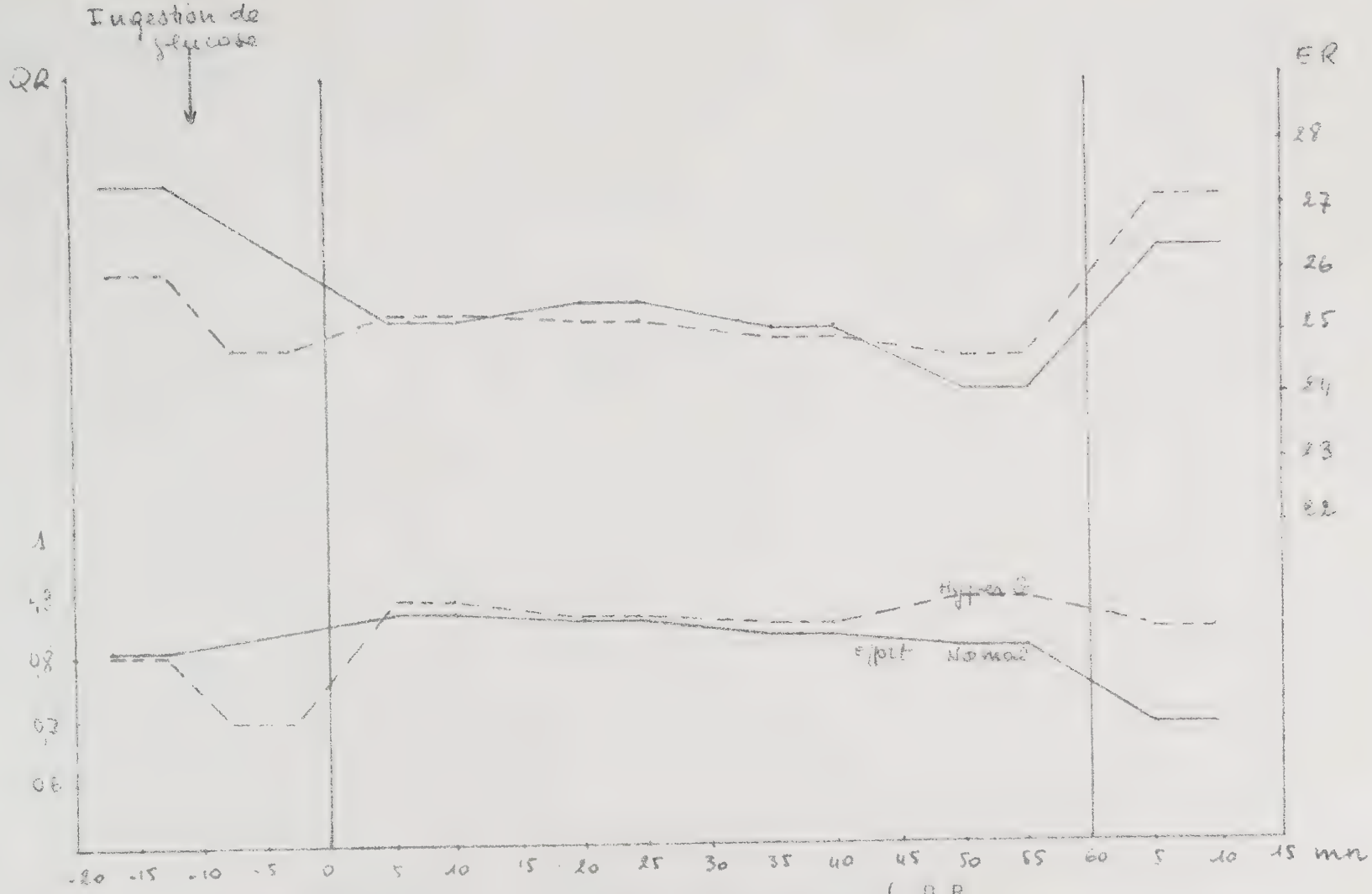


Figure N° 38 - Variations comparées du { Q R / E R

4 sujets non entraînés - épreuve d'effort normal
- épreuve après charge en glucose

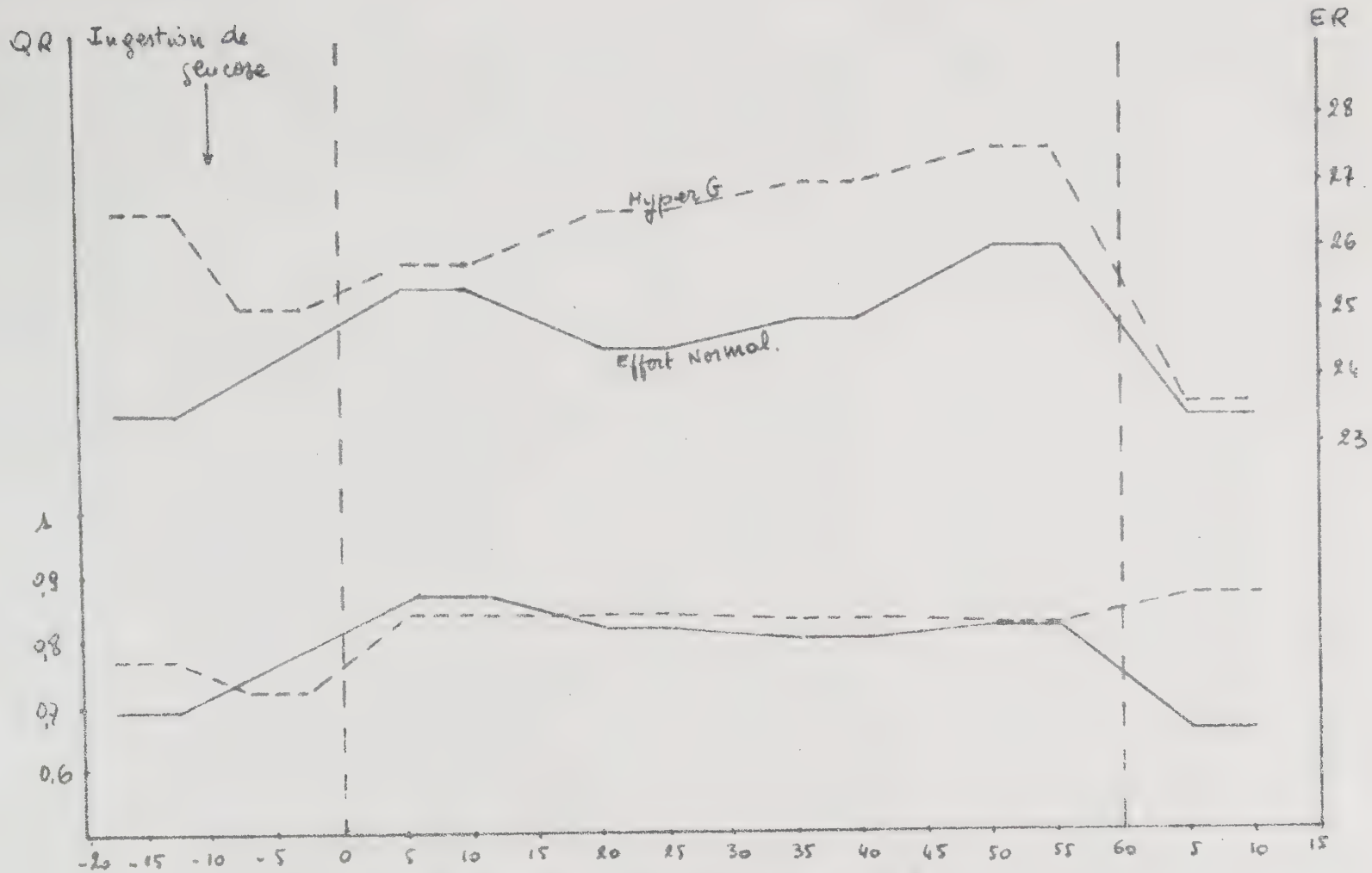


Figure N° 39 - Variations comparées du $\begin{cases} Q\ R \\ E\ R \end{cases}$

3 sujets entraînés - Epreuve d'effort normal
- Epreuve après charge en glucose

CHAPITRE 4

Epreuve d'effort musculaire en hypoxie

Variations des paramètres respiratoires à l'effort en hypoxie à 16 %.

L'objet de cette étude est double :

1) Rechercher l'influence de l'hypoxie sur l'évolution des paramètres respiratoires à l'effort pour des sujets non acclimatés à l'altitude.

2) Comparer, dans ces conditions, le comportement des sujets entraînés à celui des sujets non entraînés.

Nous avons travaillé sur un groupe de 10 sujets comportant 5 sujets entraînés et 5 sujets non entraînés. Nous aurions souhaité que les 10 sujets effectuent le même effort. Cela n'a pas été possible pour les sujets entraînés. Tous cependant ont reproduit ou essayé de reproduire l'effort qu'ils avaient fourni en normoxie au cours d'une séance précédente. Ainsi les 5 sujets non entraînés ont reproduit, chacun durant 1 heure, l'exercice de pédalage à 120 watts. Nous avons dû éliminer les résultats de l'un d'eux, des fuites d'air s'étant produites au niveau du masque.

Parmi les sujets entraînés, 3 d'entre eux, au cours de l'épreuve en normoxie avaient pédalé plus d'une heure. Etant donné la durée plus longue de l'épreuve d'hypoxie, du fait d'une période supplémentaire de repos en hypoxie, nous avons ramené leur temps d'effort en hypoxie à 1 heure. Ces trois sujets ont fourni un effort aux puissances respectives de 100 - 120- 150 W.

Les resultats de ces sept sujets sont rassemblés dans les tableaux N° 19 et N° 20. Les figures N° 40, N° 41, N° 42 et N° 43 en donnent une représentation graphique.

Les deux autres sujets entraînés,soumis à un effort de 250 W, ont dû abandonner l'épreuve très rapidement. Ils l'avaient déjà mal supportée en normoxie.

Les variations de la glycémie à l'effort en hypoxie.

Nous avons conservé les groupes constitués pour l'étude de l'évolution des paramètres respiratoires sous hypoxie. Il s'agit donc d'un groupe de 5 sujets non entraînés puisque la glycémie a pu être enregistrée chez tous. Nous avons éliminé les deux sujets entraînés qui n'avaient pas supporté l'effort. Il en reste donc trois dont nous avons conservé les résultats.

Nous nous proposons d'étudier :

1 - L'influence de l'hypoxie sur les sujets au repos et à l'effort

2 - Le comportement comparé des sujets entraînés et des sujets non entraînés.

Le tableau N° 21 rassemble les résultats des deux groupes de sujets obtenus à l'épreuve en normoxie et à l'épreuve en hypoxie.

Nous y avons fait figurer également les valeurs des Acides gras libres Plasmatiques obtenues à partir des prélèvements effectués au cours des épreuves. Les figures N° 44 et N° 45 en donnent les représentations graphiques.

Paramètres		Repos 21%	Repos 16%	15'	30'	45'	60'	Récup.
$\dot{V}_{O_2}$	21%	0,31		1,79	1,85	1,65	2,01	0,48
	16%	0,34	0,36	1,81	1,89	1,92	2,06	0,41
$\dot{V}_{CO_2}$	21%	0,25		1,58	1,54	1,50	2,01	0,27
	16%	0,27	0,22	1,50	1,54	1,58	1,69	0,35
$\dot{V}$	21%	8,1		44,7	44,7	43,4	50	8,8
	16%	7,6	7,9	41,6	49	52,7	57,6	9,2
QR	21%	0,82		0,87	0,83	0,81	0,82	0,73
	16%	0,68	0,61	0,82	0,82	0,82	0,81	0,61
ER	21%	25,9		24,4	23,8	23,2	24,6	24,1
	16%	23,5	21,3	26	25,6	27	27,1	22,5

Tableau N° 19 - Variations des paramètres respiratoires lors de l'effort musculaire - pour 3 sujets entraînés

1°) Dans les conditions normales

2°) En hypoxie 16 %

Paramètres		Repo. 21 %	Repo. 16 %	15'	30'	45'	60'	Récup.
$\dot{V}O_2$	21 %	0,22		1,01	1,04	1,01	1,00	0,33
	16 %	0,30	0,30	1,77	1,85	1,99	2,11	0,23
$\dot{V}CO_2$	21 %	0,21		1,00	1,01	1,37	1,00	0,24
	16 %	0,24	0,23	1,59	1,60	1,81	1,87	0,24
$\dot{V}$	21 %	8,2		40,7	42	42,1	43,1	8,6
	16 %	8,4	7,9	49,2	50,2	51,2	53	8,7
QR	21 %	0,79		0,86	0,86	0,82	0,80	0,68
	16 %	0,80	0,78	0,90	0,86	0,81	0,79	0,71
EK	21 %	24,4		25,2	25,0	23,1	24,1	24,3
	16 %	23	≈ 0,4	27,6	≈ 7	25,9	27,2	≈ 0,3

Tableau N° 20 - Variations des paramètres respiratoires lors de l'effort musculaire pour 4 sujets non entraînés.

1°) Dans les conditions normales

2°) En hypoxie 16 %

SNE		-20'	-15'	-10'	-5'	0'	1'	10'	15'	20'	25'	30'	35'	40'	45'	50'	55'	60'	5'	10'	15
Effort en Normoxie	G g/l	0,99	1			1,01	1,01	0,99	0,95	0,93	0,86	0,85	0,83	0,82	0,81	0,80	0,80	0,78	0,93	0,93	0,9
	AGLP																				
Effort en Hypoxie	G g/l	0,99	1	0,96	0,97	0,98	0,99	0,93	0,87	0,84	0,80	0,79	0,78	0,76	0,76	0,74	0,73	0,74	0,80	0,78	0,7
	AGLP		730		800			510			410			500			430				42
Effort en Normoxie	G g/l	1,01	0,99			1,01	1	0,98	0,92	0,89	0,86	0,82	0,82	0,81	0,82	0,79	0,80	0,79	0,91	0,88	0,9
	AGLP																				
Effort en Hypoxie	G g/l	1,06	1,07	1,09	1,10	1,11	1,10	1	0,89	0,83	0,77	0,78	0,77	0,80	0,83	0,83	0,84	0,86	0,93	0,95	0,9
	AGLP		670		800			550			440			440			430				34
SE		Repos 21%		Repos 21%		Exercice													Recupération		

Tableau N° 21 - Tableau des variations de la glycémie g/l
et des Acides gras libres plasmatiques

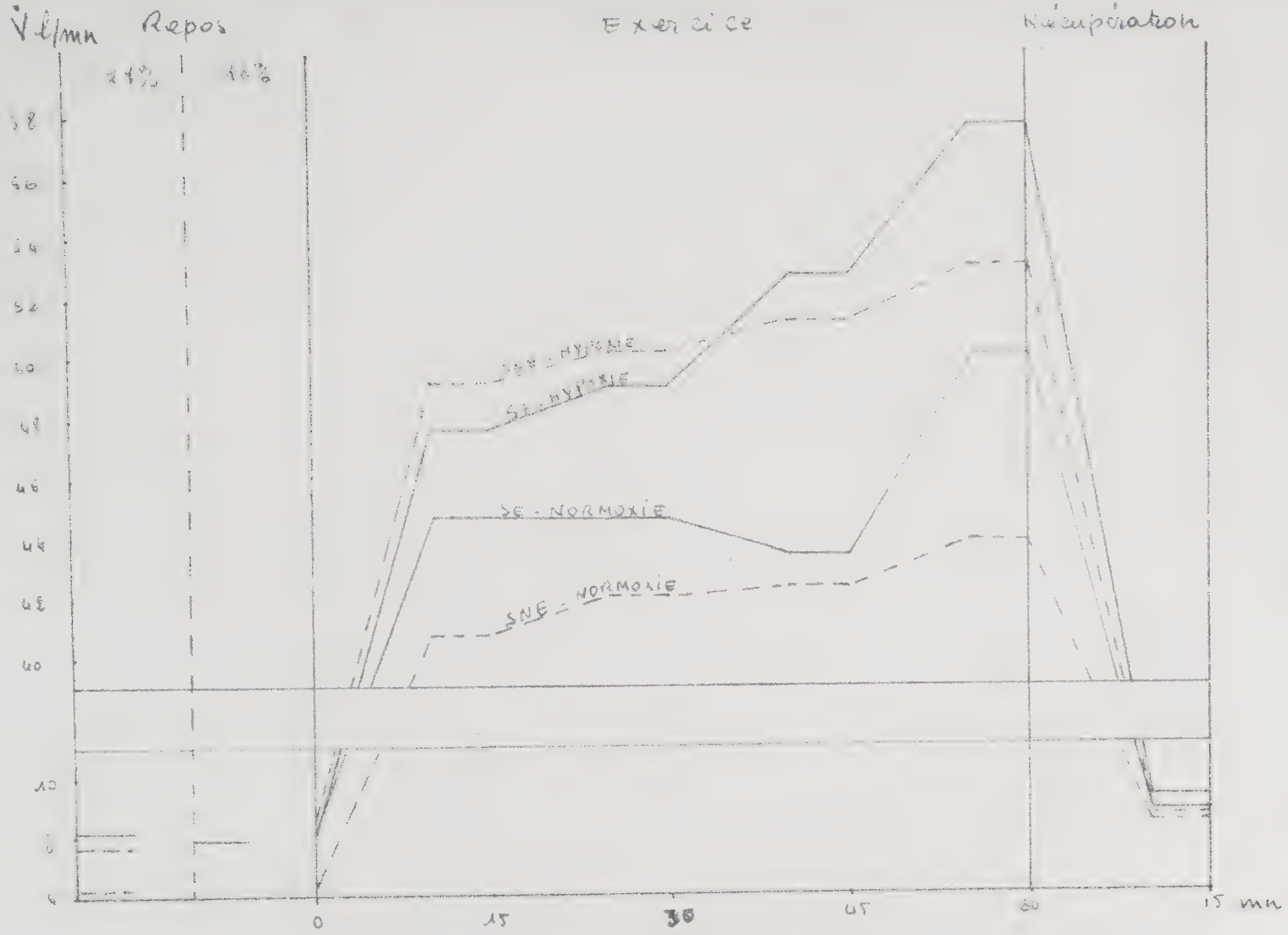


Figure 40 - Courbes de ventilation - en normoxie et en hypoxie

Sujets non entraînés (S N E)

Sujets entraînés (S E)

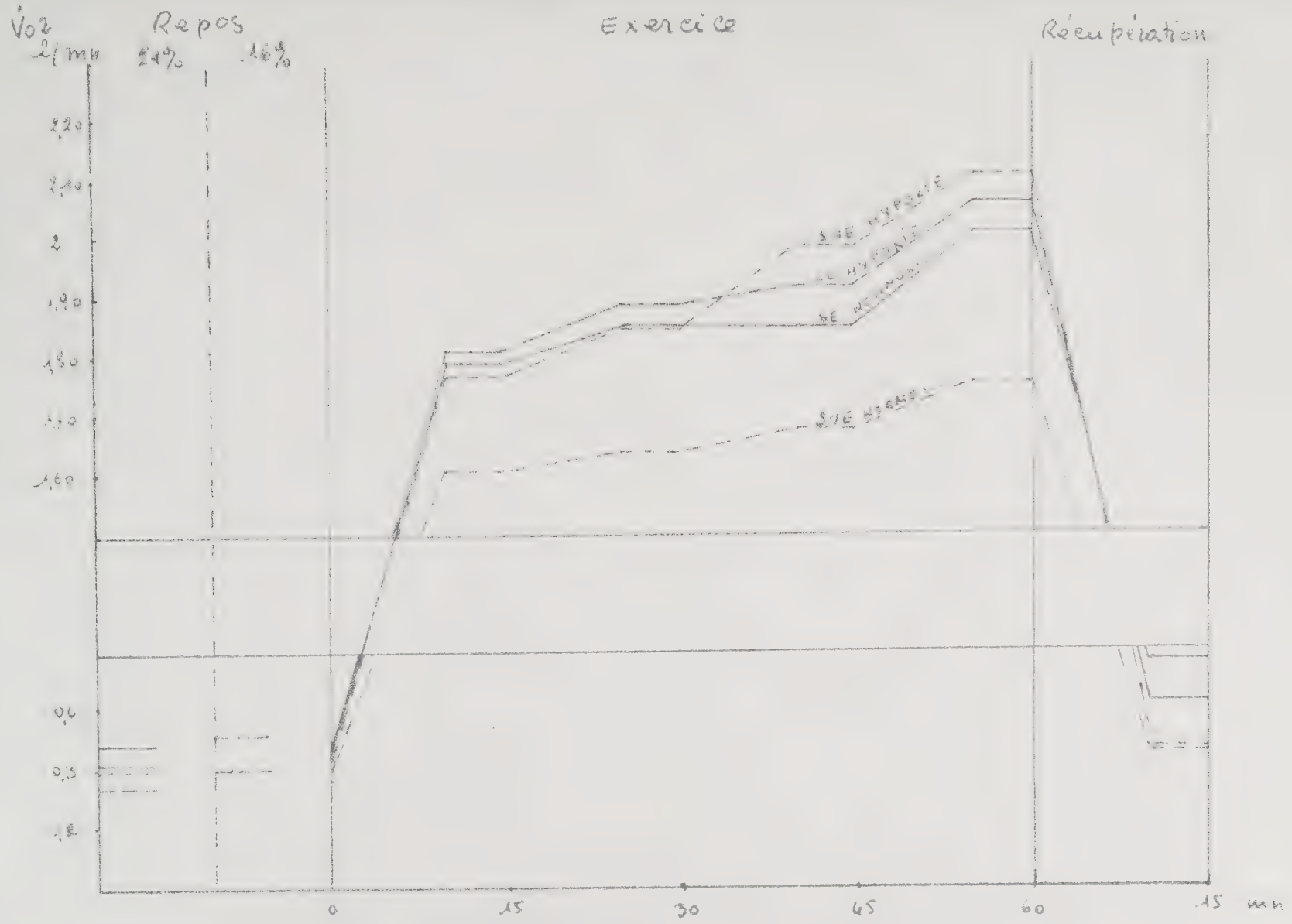


Figure N° 41 - Courbes de consommation d'oxygène - Normoxie et Hypoxie

Sujets non entraînés - (S N E)

Sujets entraînés - (S E)

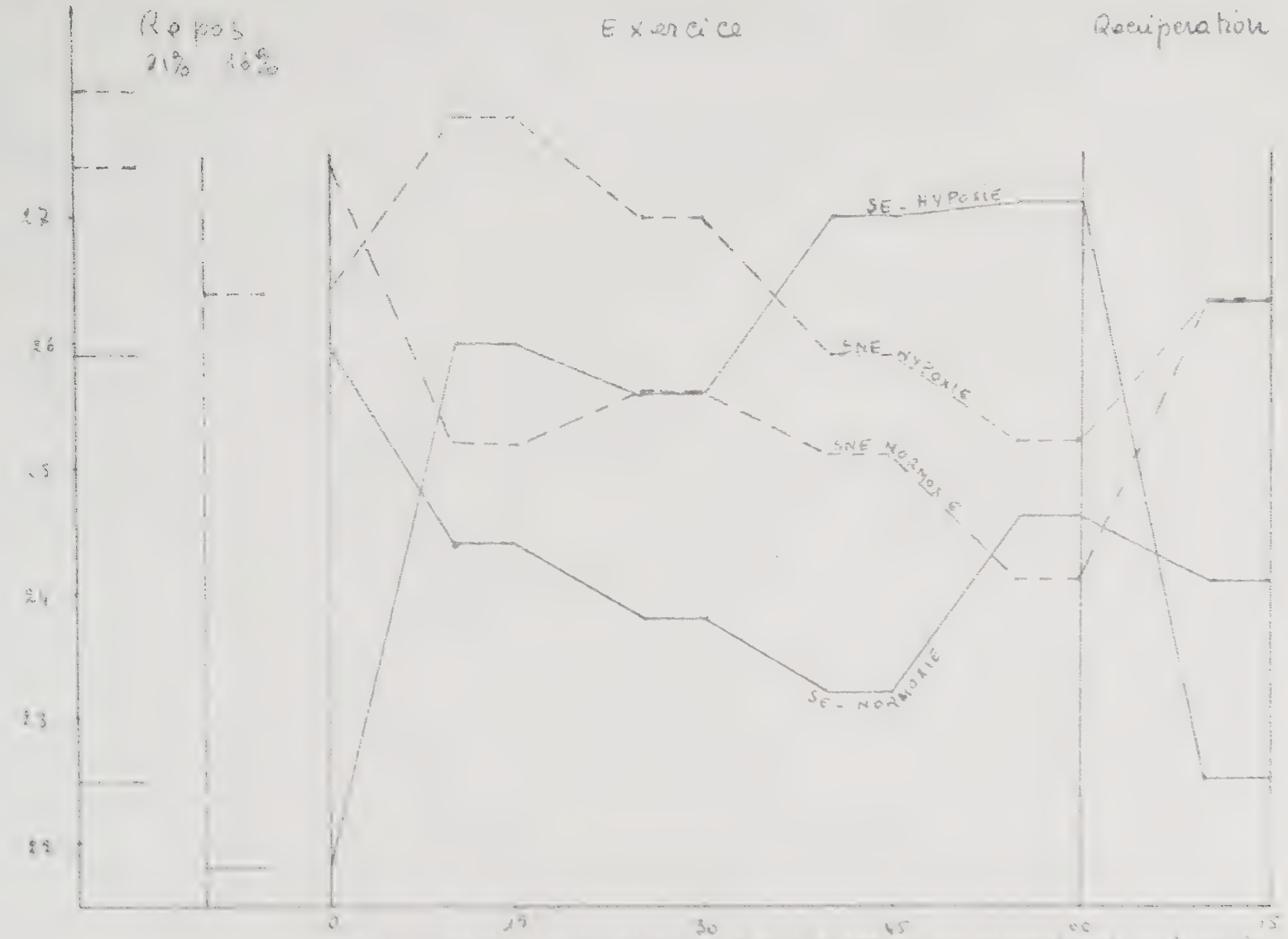


Figure N° 42 — Variations de E R à l'effort en normoxie et en hypoxie

Sujets entraînés (S E)

Sujets non entraînés (S N E)

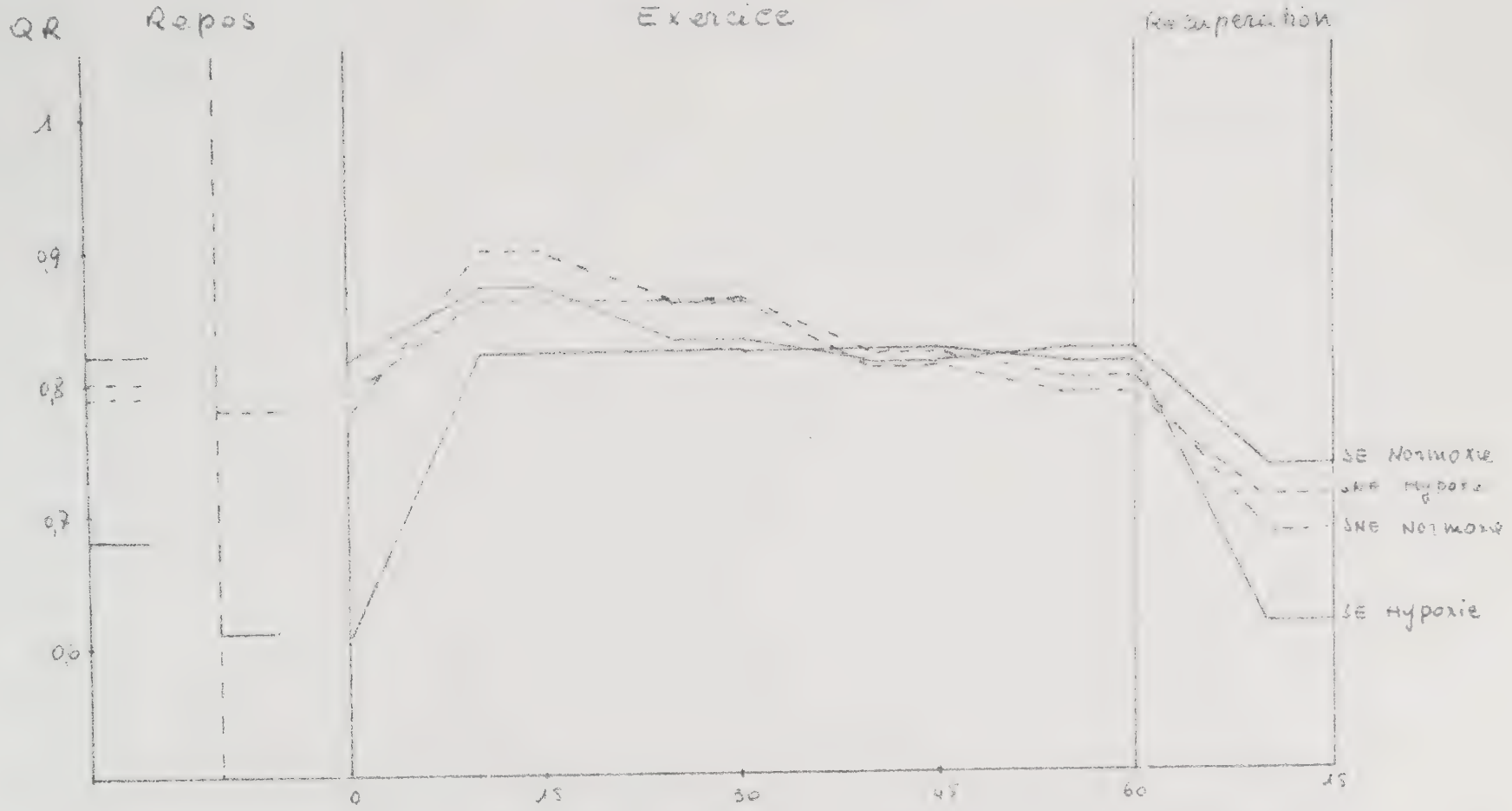


Figure N° 43 - Variations du Q R à l'effort en normoxie et hypoxie

Sujets entraînés (S E)

Sujets non entraînés (S N E)

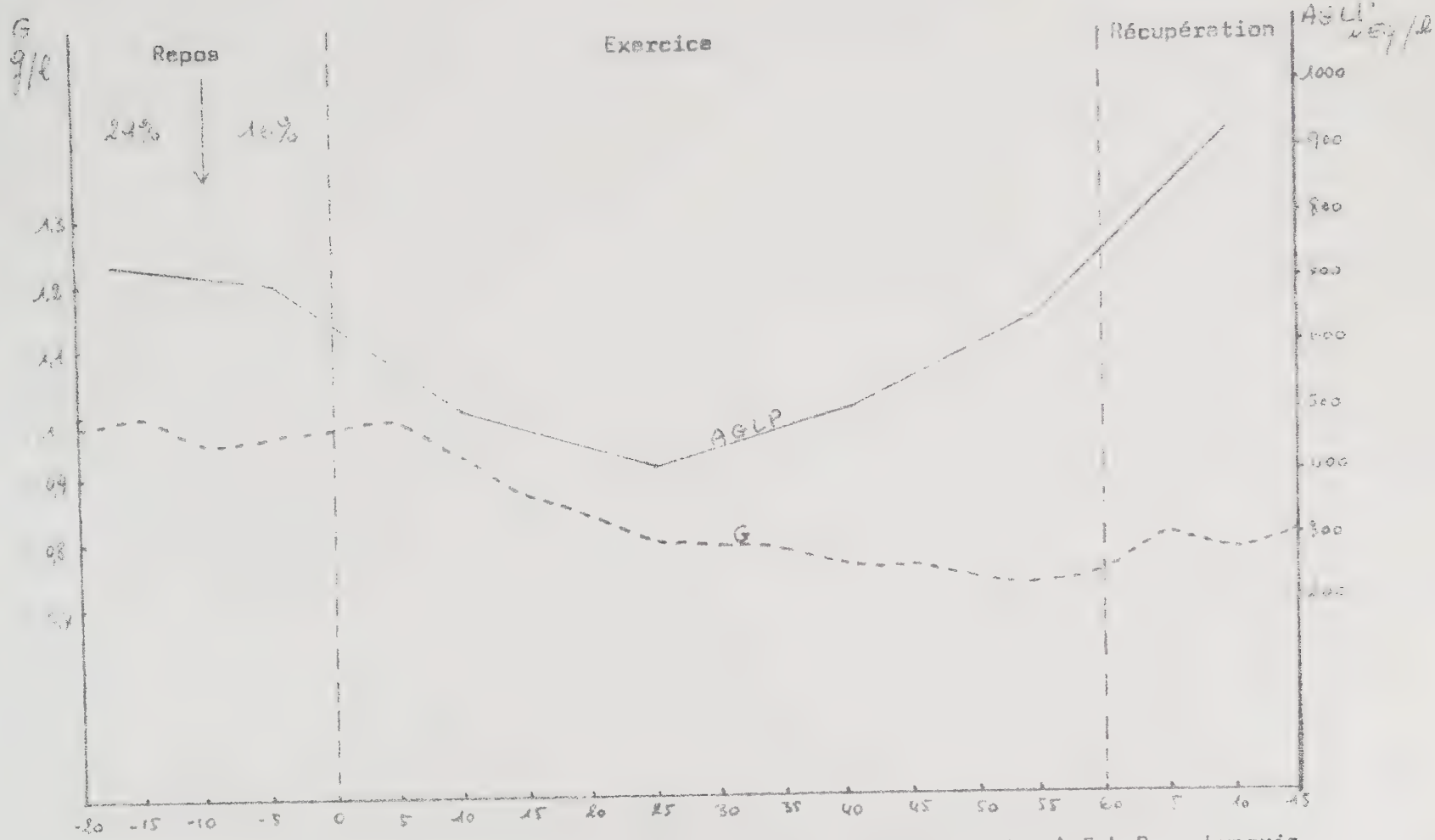


Figure N° 44 - Variations comparées de la glycémie et des A G L P en hypoxie

Sujets non entraînés

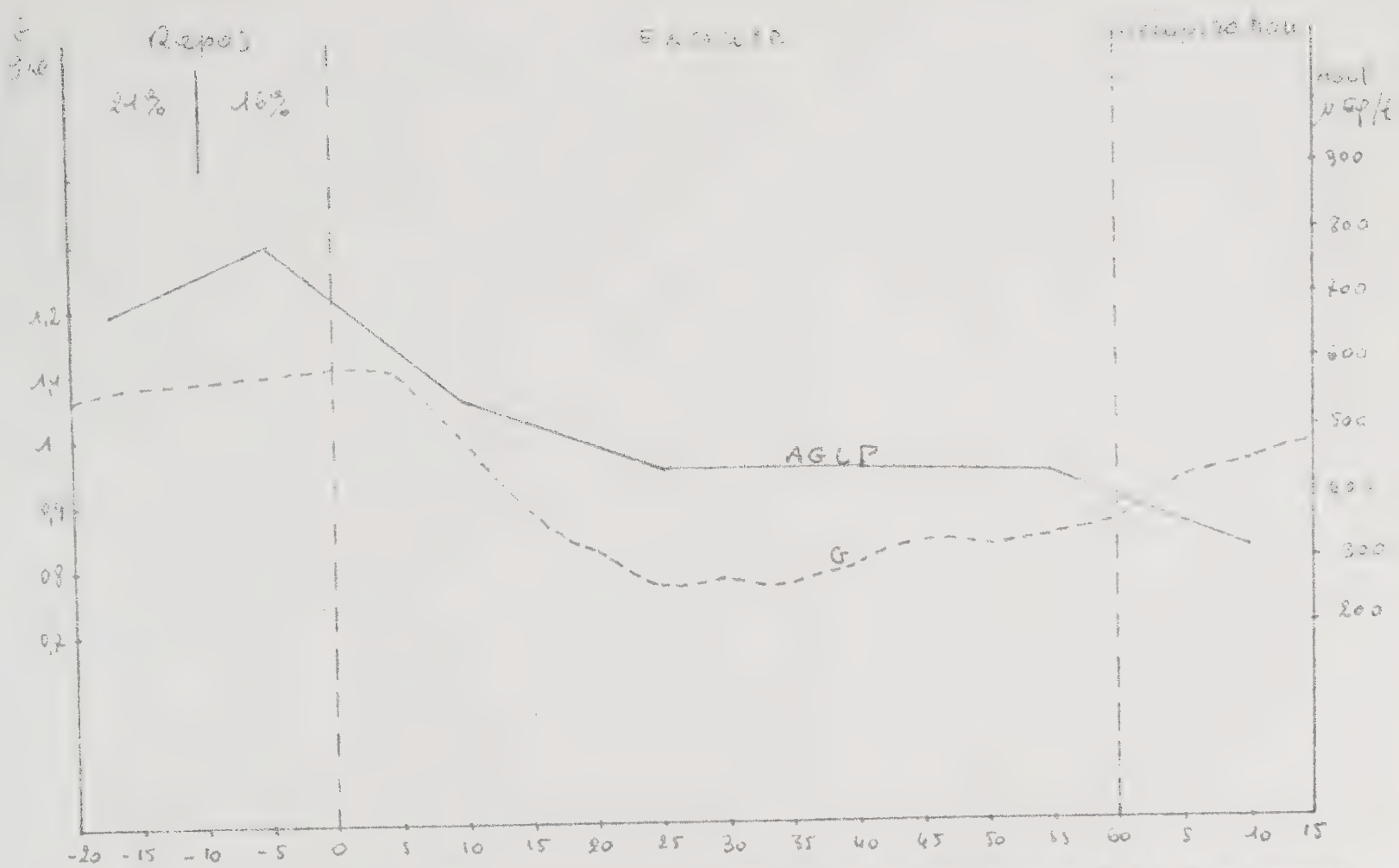


Figure 48 - Variations comparées de la glycémie et des A G L P en hypoxie

3 sujets entraînés.

CHAPITRE 5

Discussion des résultats

A - Variations des paramètres respiratoires, de la glycémie, des Acides gras libres plasmatiques lors d'un effort constant. Relations entre ces diverses variations.

I) Les Paramètres respiratoires;

Les trois phases classiques sont nettement marquées - à savoir une phase d'adaptation à l'effort, l'état d'équilibre et la période de récupération.

1° - Phases d'adaptation et de récupération.

Nous constatons :

a) Une augmentation rapide et importante de la ventilation, de la consommation d'oxygène et de l'élimination de gaz carbonique dans la période d'adaptation. Le retour aux valeurs de départ est pratiquement assuré dans les 15 minutes de récupération pour les groupes 150 et 250 W. Dans tous les autres groupes, les valeurs enregistrées à la 15ème minute de récupération se situent à un niveau légèrement supérieur au niveau de départ.

b) Une augmentation du quotient respiratoire dans tous les groupes sauf dans celui des sujets non entraînés qui ont pédalé à la puissance de 100 watts. Au cours de la phase de récupération, il s'élève dans deux groupes. 80 watts et 100 Watts sujets entraînés. Il revient à la valeur de départ ou même au dessous dans quatre groupes, et enfin il reste stable dans le groupe 100 Watts-sujets entraînés.

c) Un abaissement de l'équivalent respiratoire pour les groupes de faible ou moyenne puissance(80-100-120 watts) durant la phase d'adaptation. Par contre, aux puissances plus élevées (150-200 watts) il s'élève sauf pour le groupe 250 W. L'un des deux sujets qui composaient ce groupe est particulièrement apte à l'effort physique ; il est le seul à avoir maintenu une puissance de 250 watts durant une heure.

Au cours de la phase de récupération, ce paramètre s'est abaissé pour les groupes 100 W - sujets entraînés, 120 watts sujets entraînés et non entraînés, c'est à dire pour les groupes ayant bien supporté l'effort. Les sujets qui l'ont plus difficilement supporté, soit du fait de la médiocrité de l'aptitude physique, soit du fait de la haute intensité d'effort ont continué à accroître leur équivalent respiratoire.

Le métabographe de FLEISCH dont nous avons dit précédemment les possibilités ne permet pas la mesure des différents paramètres respiratoires cycle par cycle. Notre étude succinte de ces deux phases reste intéressante de par les résultats que nous apportons.

2° - L'état d'équilibre.

La stabilité des paramètres respiratoires n'y est véritablement observée dans aucun des groupes. Les valeurs de la consommation d'oxygène, de la ventilation et de l'élimination de gaz carbonique s'accroissent progressivement. Ce phénomène est plus particulièrement observé dans le groupe 80 W et témoigne d'une aptitude médiocre à l'effort étant donné le faible niveau de l'intensité.

A l'inverse , la plus grande stabilité des paramètres respiratoires est observée pour le groupe 100 watts sujets non entraînés.

Les variations du quotient respiratoire sont assez peu homogènes. Si la tendance générale indique une baisse de ce paramètre nous constatons pour le groupe 100 watts sujets non entraînés qu'il s'élève constamment au cours de cette phase. Dans les groupes 100 watts et 120 watts sujets entraînés, le quotient respiratoire s'abaisse dans un premier temps et amorce une remontée avant la fin de l'effort.

L'équivalent respiratoire augmente d'une manière assez constante au cours de l'état d'équilibre. Cette augmentation est plus grande encore pour les groupes ayant moins bien supporté l'effort. Le groupe 80 W atteint entre le 25ème et la 30ème minutes de pédalage la valeur de 29,6 et le groupe 200 W celle de 32,2 entre la 35ème et la 40ème minutes.

II - La glycémie

La réponse à l'effort se traduit dans tous les groupes par une diminution de la glycémie qui apparaît rarement dès le début du travail musculaire. (groupes 100 W sujets entraînés et non entraînés) . Le plus souvent cette baisse apparaît 5 à 10 minutes après le début de l'effort (tous les autres groupes) Si l'effort est prolongé assez longtemps on remarque entre la 25ème et 35ème minutes d'effort une rupture de pente de la courbe qui se stabilise jusqu'à la fin de l'épreuve.

L'arrêt de l'effort se traduit presqu'instantanément sur la courbe de glycémie par une élévation qui atteint un maximum entre la 5ème et la 10ème minutes de récupération. Après quoi se produit une nouvelle baisse, qui vraisemblablement se poursuit au delà de la 15ème minute de récupération. En nous référant à certains travaux dont nous avons mentionné les

résultats nous pensons qu'il s'agit là de la première d'une série d'oscillations qui ramènent progressivement la glycémie à sa valeur de départ.

Il est vraisemblable qu'au début de l'effort, l'organisme puise dans ses réserves de glycogène musculaire. La glycémie, alors, reste stable. Puis le muscle puise dans la réserve sanguine qui accuse une baisse dont l'amplitude reste modérée car les mécanismes régulateurs interviennent pour maintenir à une valeur suffisante le niveau du taux de glucose sanguin.

A l'arrêt de l'effort, la consommation périphérique cessant brutalement, la glycémie augmente. Les mécanismes régulateurs interviennent à nouveau provoquant une nouvelle baisse et ainsi de suite...

III - Les Acides gras libres plasmatiques

Le taux basal se situe à 690 micro Eq par litre puis cinq minutes après à 790 micro Eq/l ce qui montre les fluctuations spontanées du taux des A G L P. Si ces taux paraissent plus élevés que ceux relevés dans la littérature, c'est que nous injectons à nos sujets une dose initiale de 50 mg d'Héparine, laquelle active transitoirement la lipolyse. La courbe descend dès le début de l'effort jusqu'à la 30ème minute pour atteindre un taux de 510 micro Eq/l soit un pourcentage de chute par rapport au taux de base de 26 %.

Notons que ce taux minimal est atteint au moment précis où la courbe de glycémie présente la rupture de pente.

La courbe remonte ensuite et à la fin de l'effort, elle est de nouveau sensiblement égale à son taux de départ.

Au cours de la phase de récupération, nous observons une montée de la courbe jusqu'à la 15ème minute, puis une nouvelle descente.

IV - Relations entre les différents paramètres.

La seule relation que nous ayons pu établir se situe entre les variations de la glycémie et celle des A G L P. Le taux minimal atteint par les A G L P coïncide dans le temps avec le moment de rupture de pente de la courbe glycémique. Nous nous proposons de vérifier si cette relation est retrouvée dans les autres épreuves.

B - Variations de la glycémie en fonction de la puissance développée.

Le seul examen des résultats que nous avons présentés permet de conclure que l'abaissement de la glycémie s'effectue indépendamment de l'intensité de l'effort.

C - Variations de la glycémie au cours de l'effort en fonction de la glycémie de départ.

D'après le tableau N° 8 on peut constater que seuls les groupes 100- 120 et 150 W comptaient des sujets à glycémie de départ basse et des sujets à glycémie de départ élevée.

Dans le groupe 100 watts, ce sont les sujets à faible glycémie qui ont présenté les variations les plus importantes durant l'effort. Dans les groupes 120 et 150 watts c'est l'inverse qui s'est produit.

Il semble donc que l'amplitude des variations de la glycémie au cours de l'effort soit indépendante de la valeur de la glycémie de base.

D - Variations des paramètres respiratoires en fonction de l'intensité de l'effort durant l'état d'équilibre.

Les résultats que nous avons obtenus sont, dans leur ensemble, en harmonie avec ceux qui ont été publiés antérieurement. La consommation d'oxygène, la ventilation et l'élimination de gaz carbonique augmentent avec la puissance de l'effort. L'équivalent respiratoire est plus faible pour des efforts de 100 W que pour des efforts de 80 W. Il augmente ensuite lorsque l'effort augmente.

On remarque toutefois certains points qui méritent quelques commentaires.

a - Sujets non entraînés.

La ventilation décroît lorsque l'effort augmente de 80 à 100 watts et croît de 100 à 120 watts.

Les valeurs du quotient respiratoire sont plus élevées pour les puissances les plus basses et inversement.

Ces résultats paradoxaux s'expliquent à notre avis par le fait de la médiocrité déjà mentionnée des sujets du groupe 80 watts et par l'excellente aptitude physique des sujets du groupe 120 watts.

b - Sujets entraînés.

Ils nous ont permis d'imposer des puissances beaucoup plus élevées.

Les groupes étant d'une aptitude physique assez voisine, les résultats que nous obtenons avec eux ne présentent guère de discordance avec ceux que l'on rencontre dans la littérature.

Il semble toutefois , fig N° 24 , que la ventilation aux puissances élevées (200- 250 watts) tende progressivement vers un maximum au

délà duquel elle ne pourra plus s'élever.

E - Comparaison sujets entraînés, sujets non entraînés.

1°) Paramètres respiratoires.

Seuls les groupes 100 et 120 watts comportaient les deux types de sujets.

Les résultats que nous avons obtenus sur ce plan marquent une discordance entre les deux groupes de puissance.

a) Groupe de puissance égale à 100 watts. Les sujets entraînés y montrent une meilleure aptitude physique à l'effort. Elle se manifeste par un niveau moins élévé de la ventilation et une consommation d'oxygène plus importante que pour les sujets non entraînés.

b) Groupe de puissance égale à 120 watts.

Les résultats sont ici, paradoxalement, à l'avantage des sujets non entraînés, ou en tout cas moins entraînés que les élèves du C R E P S.

Ces résultats nous mènent à la conclusion qu'il faut se méfier des groupes multiples dans ce genre d'expérimentation. Il n'est pas possible d'en tirer des conclusions cohérentes.

2°) La glycémie

Les sujets entraînés ou non présentent le même type de réponse lorsqu'ils sont soumis à un effort physique identique. Cependant les sujets entraînés présentent des variations dont l'amplitude est réduite par rapport à celle des sujets non entraînés. Ce phénomène est constaté dans les deux groupes de puissance - 100 et 120 watts -

Il semble que les sujets entraînés consomment davantage de glucose à partir de leurs réserves musculaires dont on peut penser qu'elles sont augmentées par l'entraînement physique.

Epreuve de surcharge glucosée au repos

I - Glycémie et A G L P

Hormis les commentaires que nous avons faits lors de la transcription des résultats, nous n'interpréterons pas les courbes de glycémie chez les deux groupes de sujets puisque le groupe I était à jeun alors que le groupe II a réalisé cette épreuve 2 heures après un repas normal. Notons simplement que la surface recouverte par la courbe du groupe II est plus importante que celle du groupe I , ce qui est normal et conforme aux travaux qui ont été faits jusqu'ici.

Les variations des A G L P sont transcrites sur deux courbes dont l'aspect est à peu près identique. Il est intéressant de noter que le taux des A G L P décroît rapidement alors que le taux de glucose croît. Lorsque celui-ci a atteint sa valeur maximum, le taux des A G L P n'a pas atteint sa valeur minimum mais il en est proche.On constate en effet, qu'à partir de ce moment là, le taux des A G L P continue de décroître mais cette fois très lentement. Avec les sujets du groupe II, il se stabilise dès la 40ème minute à la valeur de 300 micro Eq/l. Avec les sujets du groupe I, il atteint cette valeur à la 60ème minute.

Il y a donc des mouvements inverses entre le taux de glucose et le taux des A G L P lors de cette épreuve et ce, d'une façon très nette entre le moment de l'ingestion du glucose et le moment où le taux de glucose atteint sa valeur maximum.

II - Les paramètres respiratoires

Il semble intéressant de noter la stabilité relative de la ventilation face à l'augmentation modérée de la consommation d'oxygène après l'ingestion de glucose, preuve s'il en est que l'organisme a besoin d'oxygène supplémentaire pour oxyder ce carburant apporté en excès qu'est la surcharge glucosée. Dès l'ingestion de glucose, le Q R va baisser rapidement, pour remonter ensuite très progressivement, montrant ainsi que l'oxydation du glucose va s'étaler dans le temps

---

Epreuve d'effort après surcharge glucosée.

I - Glycémie et A G L P

1) Nous avons superposé les courbes de glycémie obtenues après surcharge glucosée, d'une part au repos, d'autre part lors de l'effort musculaire chez les deux groupes de sujets (Fig 31-32). La consommation du glucose est nette dans les 2 cas et elle est encore plus accentuée chez les sujets du groupe II. C'est à la quinzième minute que le taux de glucose commence à décroître dans l'épreuve d'effort. A la 35ème minute, le taux de glucose a baissé de 71 % chez les sujets du groupe II. La 35ème minute marque également l'arrêt de la descente rapide de la courbe de glycémie. A partir de ce moment en effet,cette courbe est relativement stable chez les sujets du groupe I alors qu'elle s'affaisse légèrement (9 %) chez les sujets du groupe II

Dans les 2 groupes, cette courbe remonte rapidement pendant la phase de récupération. Ainsi, face à cet apport important de source énergétique il semble que l'organisme ne puisse pas en faire une utilisation immédiate

puisque jusqu'à la 15ème minute les courbes au repos et à l'effort varient de la même façon. Il stocke vraisemblablement une partie de ce glucose et le libère ensuite en fonction des besoins. La fin de l'effort n'est pas le signe impératif de cette libération et nous voyons dans la remontée de la courbe glycémique après la fin de l'effort, un retard dans la réponse métabolique de l'organisme. Il aurait été intéressant de poursuivre l'enregistrement pendant une durée beaucoup plus longue après la fin de l'effort.

2) Nous avons également superposé les courbes de glycémie à l'effort dans les conditions normales et après surcharge glucosée(fig 34). La stabilité (relative de cette courbe lors de l'effort normal se situe un peu plus tôt (25ème et 30ème minutes) qu'après surcharge glucosée. Nous observons par ailleurs que si le taux de départ de la glycémie est relativement le même au début de chacune des 2 épreuves (0,97 g/l et 1 g/l pour le groupe I, 1,05 g/l et 1 g/l pour le groupe II) par contre, le taux à la fin de l'épreuve est nettement plus élevé lors de l'effort après surcharge glucosée (+ 0,22 g/l pour le groupe I, + 0,14 g/l pour le groupe II) ce qui semble confirmer ce que nous disions plus haut, à savoir que la consommation du glucose ingéré s'étale dans le temps. Il serait intéressant de savoir si cette durée, ce temps nécessaire à l'oxydation du glucose est fonction de la dose ingérée.

3) La courbe représentative des variations du taux des A G L P (fig 35) appelle, elle aussi, quelques commentaires. L'allure de cette courbe est à peu près identique dans les deux groupes, c'est à dire, rappelons-le, une descente assez rapide (jusqu'à la 25ème minute pour le groupe II, jusqu'à la 40ème minute pour le groupe I) suivie, soit d'une stabilisation, soit d'une remontée légère. Les taux, cependant sont nettement plus élevés

pour le groupe I,et ce, à tous les moments (+ 50 % environ par rapport au groupe II). Ceci fait que, par rapport aux variations observées lors de la surcharge glucosée au repos, la courbe représentative des variations des A G L P à l'effort se situe en dessus de celle-ci pour les sujets du groupe I et en dessous pour les sujets du groupe II. Nous ne voyons pour le moment aucune explication à donner à cette disparité.

3) Si nous superposons les courbes de glycémie et d'A G L P (fig33) pour cette épreuve, nous observons une fois de plus que la courbe des A G L P se stabilise (si le taux des A G L P est relativement élevé) ou remonte (si le taux des A G L P est faible) lorsque la courbe de glycémie elle même se stabilise. Ainsi donc l'organisme commencerait par utiliser d'abord le glucose comme combustible (comme en témoigne la baisse primitive de la glycémie) dans l'immédiat, puis dans un 2ème temps (lorsque les réserves glucidiques s'épuisent) il serait fait appel aux A G L P pour venir prendre le relais énergétique.

II - Les paramètres respiratoires

Nous observons tout d'abord qu'au cours de cette épreuve, la ventilation des sujets du groupe II (fig 36) ne trouve jamais un état d'équilibre alors qu'elle s'établit facilement dans cet état pour le groupe II (fig 36). Si nous comparons [illegible] les réponses enregistrées lors de l'épreuve normale, nous constatons que les sujets entraînés ventilent beaucoup plus lors de l'effort en surcharge glucosée et ceci, bien que les puissances fixées pour ce travail soient rigoureusement les mêmes. Inversement les sujets non entraînés ont une ventilation légèrement inférieure à celle enregistrée lors de l'effort normal.

La consommation d'oxygène est sensiblement la même lors des deux épreuves pour les deux groupes de sujets, puisque les variations sont de l'ordre de 2 à 5 % (fig 37). Il s'ensuit que l' ER (fig 38-39) conserve à peu près les mêmes valeurs lors des deux épreuves pour le groupe I (non entraînés) alors que pour le groupe II (entraînés) les valeurs de l'ER lors de l'épreuve d'effort en surcharge glucosée se situent à un niveau nettement plus élevé que lors de l'épreuve normale. Le QR (fig 38-39) montre des taux relativement voisins tout au long de l'épreuve d'effort que celle-ci soit faite sans surcharge glucosée ou avec surcharge. Il faut cependant noter qu'à la fin de l'effort, les sujets du groupe I montrent un QR nettement plus élevé (0,88 au lieu de 0,80) lorsqu'ils travaillent en surcharge glucosée. Au cours de la phase de récupération, le QR atteint des valeurs nettement plus élevées lors de l'effort en surcharge glucosée que lors de l'effort normal.

Groupe I (0,82 au lieu de 0,68)

Groupe II (0,87 au lieurde 0,66)

Il semble donc, si l'on se réfère essentiellement aux variations de la ventilation que les sujets non entraînés ont mieux supporté l'effort en surcharge glucosée que les sujets entraînés. On pourrait en conclure qu'il semble inutile de donner du sucre aux sportifs pendant l'effort.

Epreuve d'effort en hypoxie

I) Influence de l'hypoxie sur les paramètres respiratoires au cours de l'effort.

1 - La phase d'adaptation.

Les paramètres respiratoires qui subissent au cours de cette période des variations importantes, se stabilisent à un niveau différent de celui qui est observé dans les conditions normales.

La ventilation : Elle subit une augmentation plus importante en hypoxie. Le niveau de l'état d'équilibre, déterminé entre la 10ème et la 15ème minute de l'effort est plus élevé, à la fois chez les sujets entraînés et non entraînés. L'augmentation exprimée en pourcentage de la valeur obtenue à l'état d'équilibre en normoxie, atteint les valeurs suivantes :

Pour les sujets entraînés : + 6,4 %
Pour les sujets non entraînés : + 20,8 %

La consommation d'oxygène subit le même phénomène.

Le niveau atteint en état d'équilibre est augmenté de 1,1 % chez les sujets entraînés et de 8,6 % chez les sujets non entraînés.

- L'équivalent respiratoire.

L'augmentation relativement plus importante de la ventilation par rapport à celle de la consommation d'oxygène se traduit par une augmentation de ce paramètre. Il passe de 24,4 à 26 pour les sujets entraînés et de 25,2 à 27,8 pour les sujets non entraînés.

- Le quotient respiratoire.

Il est augmenté pour les sujets non entraînés alors qu'il est plus faible pour les sujets entraînés.

L'ensemble de ces résultats, relatifs à la phase d'adaptation prouve que l'hypoxie agit comme si l'on avait augmenté l'intensité de l'exercice en normoxie.

2 - L'état d'équilibre.

Nous observons tout d'abord que les deux groupes de sujets ont un comportement différent dans l'épreuve en normoxie. Les sujets entraînés ont remarquablement supporté l'effort jusqu'à la 45ème minute, puis entre la 45ème et la 60ème minutes, on assiste à une rupture de l'état d'équilibre qui se traduit par une augmentation importante de tous les paramètres respiratoires.

Les sujets non entraînés, s'ils manifestent une stabilité moins grande au cours des 45 premières minutes de l'effort, terminent mieux que les sujets entraînés. Cet état de chose s'explique par le fait que nous n'avons malheureusement pas pu imposer la même puissance de pédalage aux deux groupes. Les sujets entraînés ont pédalé à un niveau de puissance supérieure. Les valeurs plus élevées des paramètres respiratoires à l'état d'équilibre et la rupture de celui-ci à la fin de l'effort ne signifient pas forcément que le groupe de sujets entraînés présente une aptitude physique inférieure à celle des sujets non entraînés.

L'examen des courbes présentées aux figures N° 40 -41-42-43 montre que le groupe de sujets entraînés s'est moins bien comporté que les

sujets non entraînés dans l'épreuve en hypoxie. Nous avons calculé, en pourcentage des valeurs obtenues à la 15ème minute d'effort, l'augmentation survenue entre la 15ème et la 60ème minutes pour :

1° - La ventilation

- sujets entraînés en normoxie : + 11,7 %
- sujets entraînés en hypoxie : + 21 %
- sujets non entraînés en normoxie : + 7, 6 %
- sujets non entraînés en hypoxie : + 7,7 %

2° - La consommation d'oxygène

- sujets entraînés en normoxie: + 12,2 %
- sujets entraînés en hypoxie : + 13,8 %
- sujets non entraînés en normoxie : + 9, 3 %
- sujets non entraînés en hypoxie : + 19,2 %

Ces chiffres témoignent bien d'une difficulté, pour les sujets entraînés à maintenir l'effort demandé. L'hyperventilation n'améliore pas en conséquence la consommation d'oxygène. Chez les sujets non entraînés qui ont pratiquement aussi bien supporté l'effort dans les deux épreuves, il n'y a pas d'augmentation de la ventilation. Par contre, leur consommation d'oxygène augmente beaucoup plus en hypoxie qu'en normoxie.

L'évolution des quotients et des équivalents respiratoires confirme l'excellent comportement des uns et les difficultés des autres lors de l'épreuve en hypoxie.

Le quotient respiratoire reste constant chez les sujets entraînés dans l'épreuve en hypoxie alors qu'il s'est abaissé dans l'épreuve en normoxie. Chez les sujets non entraînés il s'abaisse au cours des deux épreuves.

L'équivalent respiratoire des sujets entraînés s'abaisse dans les deux épreuves pour remonter avant la fin de l'effort. La remontée est plus précoce dans l'épreuve en hypoxie.

COMPARAISON SUJETS ENTRAINES - SUJETS NON ENTRAINES

L'effort en hypoxie ayant été bien supporté dans sa première partie par les deux groupes, nous pouvons constater que les sujets entraînés établissent un état d'équilibre plus proche de celui qui est réalisé dans les conditions normales que ne le font les sujets non entraînés. On pourrait être tenté de penser que les sujets entraînés se sont mieux adaptés aux conditions d'hypoxie.

A y regarder de plus près pourtant, on s'aperçoit que l'augmentation supérieure de la ventilation, dûe aux conditions d'hypoxie, est en réalité relativement moins importante pour les sujets non entraînés si on la compare à l'augmentation de la consommation d'oxygène. Malgré les apparences , l'hypoxie provoque dès l'établissement de l'état d'équilibre, une hyperventilation plus importante pour les sujets entraînés. Ce phénomène s'accentue par la suite et devient nettement apparent à partir de la 30ème minute qui marque le début de l'élévation de l'équivalent respiratoire. Pour les sujets non entraînés, c'est le phénomène inverse qui se produit et qui se traduit par l'abaissement progressif et constant de l'équivalent respiratoire.

Par ailleurs, il est intéressant de constater, grâce au groupe des sujets entraînés que le moment de la rupture de l'état d'équilibre (pour un effort déjà limite en normoxie) est plus précoce dans les conditions d'hypoxie.

Les deux groupes de sujets n'ayant pas produit un effort de même puissance, il s'avère impossible de retirer des conclusions d'une telle expérimentation quant à la comparaison des deux types de sujets. Là encore nous pensons qu'il est souhaitable que le même groupe de sujets subisse les deux séries d'épreuves, à la même puissance, avant et après une période d'entraînement physique.

II) Influence de l'hypoxie sur les variations de la glycémie au cours de l'effort.

- Les résultats présentés au tableau N° 21 et figures N° 44-45 montrent qu'on obtient le même type de réponse à l'effort en normoxie et en hypoxie. A savoir:

- Une période de stabilité d'une durée de 5 minutes environ.
- Une période où la glycémie s'abaisse.
- Une période de stabilisation à partir de la 25ème minute.
- Une remontée passagère dès la fin de l'exercice.

On remarque toutefois,chez les sujets entraînés:

Une pente plus rapide de la courbe pour sa partie descendante.

Une remontée légère à partir de la 30ème minute.

ce qui correspond aux descriptions données par CHRISTENSEN pour un effort en normoxie. Si une atmosphère légèrement hypoxique ne modifie pas la nature de la réponse glycémique, elle agit tout de même au niveau de l'amplitude des variations. Celles-ci calculées en pourcentage de la valeur de départ atteignent les valeurs suivantes :

1°) Sujets non entraînés en normoxie : 22,77 %
2°) Sujets non entraînés en hypoxie : 24,08 %
3°) Sujets entraînés en normoxie : 21,11 %
4°) Sujets entraînés en hypoxie : 22,52 %

L'hypoxie semble donc augmenter l'amplitude des variations de la glycémie au cours de l'effort et ceci d'une façon plus accusée pour les sujets non entraînés. Toutefois le nombre limité de nos expériences ne nous autorise pas à généraliser trop hâtivement. D'autres expériences devront être entreprises pour qu'on puisse se faire valablement une idée sur la question.

III) Influence de l'hypoxie sur les variations des A G L P au cours de l'effort.

a) Les variations au repos.

Durant la période de repos, le passage en hypoxie s'accompagne de variations du taux des A G L P. La courbe des sujets entraînés s'élève alors que celle des sujets non entraînés s'abaisse. Il est toutefois bien difficile d'attribuer ces variations à la modification de l'atmosphère respirée d'autant que le taux des A G L P est très variable, nous l'avons constaté dans les conditions de repos en atmosphère normale.

b) Les variations durant l'effort.

Ainsi que dans toutes les autres épreuves d'effort qui ont été pratiquées nous observons une baisse de la courbe des A G L P dans la première partie de l'effort. Cette baisse se produit jusqu'à la 25ème minute et son amplitude est sensiblement du même ordre d'importance pour les deux groupes de sujets.

A partir de la 25ème minute, la courbe des sujets entraînés se stabilise alors que celle des sujets non entraînés remonte pour retrouver en fin d'effort un niveau voisin de celui du départ.

c) Les variations à l'arrêt de l'effort.

Elles se caractérisent par une baisse de la courbe des sujets entraînés et une élévation de celle des sujets non entraînés.

La dénivellation observée dans la première partie de l'effort peut vraisemblablement s'expliquer par l'augmentation de la consommation des Acides gras libres dans les muscles qui travaillent et par l'augmentation du débit sanguin, conséquence du travail musculaire.

La deuxième partie des courbes est plus difficile à interpréter. Nous pensons que l'étude des variations de certains paramètres sous l'effet de l'hypoxie pourrait nous y aider. Particulièrement celles des catecholamines, du cortisol, de l'insuline, de l'acide pyruvique et de l'acide lactique dans le sang.

C O N C L U S I O N

A l'aide d'un appareillage comprenant l'auto-analyseur Technicon pour la mesure de la glycémie en continu, le métabographe de Fleisch pour la mesure de la fonction pulmonaire et l'ergotest pour la réalisation de l'effort, nous avons effectué une étude portant sur les variations de la glycémie, des acides gras libres plasmatiques et des paramètres respiratoires au cours de l'effort.

Deux catégories de sujets ont participé à ces épreuves, d'une part, des étudiants en médecine d'âge moyen, ne pratiquant pas de sport d'une manière habituelle et d'autre part, des étudiants en Education physique et sportive. Les épreuves d'effort ont été effectuées dans un premier temps dans des conditions normales (normoxie) puis dans les mêmes conditions après surcharge glucosée, et enfin en plaçant les sujets en hypoxie (16 % d'oxygène)

- Les résultats obtenus nous amènent à présenter les observations suivantes :

1°) La réponse des paramètres respiratoires, quelles que soient les conditions expérimentales, présente les mêmes caractéristiques. On note toutefois que les valeurs atteintes à l'état d'équilibre sont plus élevées en hypoxie et après surcharge glucosée. La stabilité de l'état d'équilibre y est aussi moins bien réalisée. Hypoxie et surcharge glucosée peuvent être assimilées à une augmentation légère de l'intensité de l'effort.

2°) Les courbes moyennes de glycémie , obtenues pour les différents groupes, quels que soient le niveau de puissance de l'effort et

l'aptitude physique, se caractérisent par :

- Une période de stabilité d'une durée de 5 à 10 minutes au début de l'effort.

- Une baisse de la courbe

- Une nouvelle période de stabilité survenant à la 25ème 30ème minutes et se maintenant jusqu'à l'arrêt de l'effort

- Une remontée de la courbe, dès l'arrêt de l'effort jusqu'à un maximum atteint à la 5ème 10ème minutes de récupération.

L'amplitude des variations demeure toujours faible dans ce type d'effort. Elle est indépendante du niveau de la charge aussi bien que de la valeur de la glycémie de départ. En revanche elle est, semble-t-il, diminuée par l'entraînement physique et augmentée dans les conditions d'hypoxie.

En cas de surcharge glucosée préalable, l'hyperglycémie provoquée est réduite par l'effort physique tant dans son amplitude que dans sa durée, ce qui témoigne d'une consommation accrue de glucose. La remontée de la courbe de glycémie, à l'arrêt de l'effort,est significativement plus importante et son maximum n'est pas atteint au bout de 15 minutes.

3°) Dans toutes les épreuves d'effort, qu'elles soient exécutées en normoxie, en hypoxie ou après surcharge glucosée, qu'il s'agisse de sujets entraînés ou non, la courbe des Acides gras libres plasmatiques présente à peu près la même allure. On note tout d'abord une baisse qui se poursuit jusqu'à la 25ème 30ème minutes d'effort. Après quoi survient,

soit une stabilisation au niveau atteint, soit une remontée de la courbe. La rupture de pente se produit à peu près au moment où survient la deuxième stabilisation de la courbe de glycémie.

A l'arrêt de l'effort, nous observons soit une hausse, soit une baisse, soit enfin le maintien à un niveau constant de la courbe.

La baisse du taux des A G L P qui survient dans la première partie de l'effort est vraisemblablement explicable par leur consommation accrue par les muscles qui travaillent at par l'augmentation de la masse sanguine mise en circulation du fait de l'effort.

Lorsque l'épreuve d'effort est précédée d'une absorption de glucose, à ces facteurs concourant à la baisse des A G L P s'en ajoute un autre. En effet, l'hyperglycémie provoque une libération d'insuline qui favorise la pénétration intracellulaire du glucose et freine le phénomène de lipolyse. Dans les épreuves de surcharge glucosée au repos, seul ce dernier phénomène peut être invoqué pour expliquer la diminution du taux des A G L P qui survient durant l'élévation de la glycémie.

La forte amplitude des réponses obtenues dans ces deux épreuves provient très certainement du fait qu'il s'agit de sujets jeunes.

4°) Pour ce qui est de la comparaison entre sujets entraînés et non entraînés, nous avons déjà formulé nos conclusions concernant les variations de la glycémie à l'effort. Les épreuves de charge en glucose, qu'elles soient ou non suivies de l'effort musculaire révèlent par ailleurs que les sujets entraînés présentent des variations métaboliques plus rapides que les sujets non entraînés. C'est ainsi que la flèche d'hyperglycémie d'une part et la stabilisation ou la remontée de la courbe des A G L P

sont obtenues plus précocement par les sujets entraînés. Nous pensons que le phénomène est l'expression d'une faculté d'adaptation à l'exercice musculaire plus développée, conséquence de l'entraînement physique.

L'étude des paramètres nous a conduit dans ce domaine à des résultats contradictoires qui tiennent essentiellement à la méthode de travail utilisée.

Sur la plan du principe, il apparaît qu'il faille distinguer l'aptitude physique plus ou moins développée chez les différents sujets, des répercussions de l'entraînement sur l'aptitude physique. Des sujets, peu ou moyennement doués sur le plan physique améliorent leurs performances par l'entraînement. Mais celles-ci peuvent rester inférieures à celles qu'obtiendront des sujets peu entraînés et doués physiquement. C'est ce qui s'est produit pour certains de nos groupes et parfaitement traduit sur le plan des paramètres respiratoires.

Si donc l'on veut déterminer les répercussions de l'entraînement sur certains paramètres comme c'était notre projet, ou encore étudier les réactions de l'organisme en fonction de l'intensité de l'effort, il faut mettre en oeuvre un protocole d'étude différent de celui qui fût le nôtre.

Il faut en particulier exclure les groupes multiples. Les épreuves d'effort permettent d'évaluer l'aptitude physique des sujets qui les composent mais non point de distinguer la part qui revient aux dons naturels de celle qui résulte de l'entraînement.

Il apparaît souhaitable donc d'expérimenter sur un seul groupe de sujets suffisamment nombreux et qui devra subir :

a) Pendant un temps déterminé, un entraînement caractérisé par la nature des exercices pratiqués, la fréquence de leur répétition et leur intensité.

b) Une ou plusieurs épreuves d'effort standardisées avant et après la période d'entraînement. Ces épreuves devront se dérouler chaque fois dans les mêmes conditions d'horaire et si possible avec des sujets à jeun.

C'est au cours de ces épreuves que seront étudiés les paramètres choisis.

Ainsi seulement il sera possible de déterminer les effets de tel type d'entraînement sur l'organisme humain. Il s'agit là d'un protocole d'étude contraignant et très difficile à mettre en oeuvre car il exige beaucoup de temps de la part des sujets qui se prêtent à l'expérimentation. Il nécessite, à n'en pas douter, la collaboration entre sportifs ou enseignants en éducation physique et médecins. Les uns et les autres doivent tirer bénéfice de cette collaboration indispensable mais aussi et surtout les jeunes sportifs. Le souci du rendement, légitime aussi bien pour l'entraîneur que pour le sportif, doit se fonder, autant qu'il est possible, sur des données scientifiques de manière à assurer au mieux les progrès sans nuire à la santé.

Au total donc, ce travail nous a permis, outre les quelques conclusions auxquelles nous sommes parvenus, d'élaborer une méthode d'étude qui nous permettra ultérieurement de poursuivre nos investigations.

TABLE DES MATIERES

A - Travaux antérieurs - Bibliographie

Ch 1 : Variations des paramètres respiratoires lors de l'effort musculaire ..... 3 - 19

Ch 2 : Conditions de travail en hypoxie ..... 20 - 24

Ch 3 : Variations de la glycémie lors de l'effort musculaire .. 25 - 42

Ch 4 : Epreuve d'hyperglycémie provoquée par voie orale ..... 43 - 50

Ch 5 : Métabolisme des A.G.L.P. ..... 51 - 62

Ch 6 : Variations des A.G.L.P. lors de l'effort musculaire..... 63 - 70

B - Matériel et Méthodes

Ch 1 : Technique ..... 71 - 85

Ch 2 : Déroulement des épreuves ..... 86 - 88

C - Résultats obtenus

Ch 1 : Epreuve d'effort dans les conditions normales ..... 89 - 108

Ch 2 : Epreuve de surcharge glucosée au repos ..... 109 - 116

Ch 3 : Epreuve d'effort après surcharge glucosée ..... 117 - 131

Ch 4 : Epreuve d'effort en hypoxie ..... 132 - 142

Ch 5 : Interprétation des résultats ..... 143 - 161

D - Conclusion..... 162 - 166

E - Bibliographie ..... I - XX

Vu, le Président de Thèse

J.M. DUBOIS de MONTREYNAUD

Vu et permis d'imprimer

Le Doyen de la Faculté Mixte
de Médecine et de Pharmacie
de REIMS

H.EZES

B I B L I O G R A P H I E

1 - AEPLI. R.

Les paramètres respiratoires de l'homme âgé lors de l'exercice musculaire

Poumon et coeur 1959, 15, 892.

---

2 - ARNAUD.J - PITULOU - MERIGOTR

Exploration de la fonction respiratoire

MASSON ed. 1947

---

3 - ASTRAND. P.O.

Circulatory and respiratory response to Acute and Prolonged Hypoxia Durving Heavy Exercice.

Med. THORAC, SUISSE 1967, 24, N° 2 , 118-28.

---

4 - AZERAD E. LUBETZKI . DUPREY J.

Etude par enregistrement continu de l'épreuve d'hyperglycémie provoquée par voie veineuse. Causes d'erreurs. Façons d'y remédier. Symposium Technicon Européen. " Automation en chimie analytique" Mediad Incorporated. NEW YORK 1967.

---

5 - BALASSE E.

Métabolisme glucidique et Acides Gras Plasmatiques. In journées annuelles de diabétologie de l'Hôtel Dieu . Paris 1966 Ed Med Flammarion p 13.

6 - BASU A - PASSMORE R - STRONG J.A.

The effect of exercise on the level of non esterified fatty acids in the blood.

Quart.J. exp. Physiol. 1960. 45. 312.

---

7 - BERNIER JJ. LAMBLING A. DEGREMONT A. TERRIS G. VIDON N.

Comparaison entre l'épreuve d'hyperglycémie orale et l'épreuve d'hyperglycémie intraveineuse "journées annuelles de diabétologie de l'Hôtel Dieu. PARIS 1964.

Ed Medicales Flammarion p;169.

---

8 - BERNIER - PAUPE.

Glucides. Physiologie et biochimie normales et pathologiques.

1 Vol. Masson Ed. PARIS - 1963.

---

9 - BIDART Y. DELATTRE J. MENIER R.

Compte rendu. FONT-ROMEU. Sept 1966. Non publié.

---

10 - BIGET P. GASPA P.

Variations du glycogène hépatique sous l'influence de l'anoxémie.

J. Physiol. 1951. 43-44.

---

11 - BOGDONOFF M.D. ESTES E.H. TROUT D.

Acute effect of psychologic stimuli upon plasma non esterified fatty acids.

Proc. Soc. exp.biol (N Y) 1959 - 100 - 503.

---

12 - BOTTIN R. JUCHMES J. PETIT J.M. DEROANNE R. PIRNAY F.

Régime stable maximum de sujets normaux comparativement à des athlètes.

13 - BRODAN V. KUHN E.

Veränderungen des Respirations quotienten bei kurzer physischer Belastung.

Internat. Z Angew. Physiol. Dtsch 1966, 23, N° 1 , 42-52.

14 - CARLSON L.A. PERNOW B.

Studies on blood lipids during exercise.

I J. Lab. clin Med 1959 53 833

II J. Lab. clin Med 1961 58 673

15 - CASTAIGNE P. CAMBIER J. SCHULLER E.

Etude de la régulation de la glycémie par enregistrement continu

Presse Med 1963. 71. 2555-2557.

16 - CHAILLEY-BERT P - PLAS F.

Physiologie des activités physiques

Ed. J.B BAILLIERE & FILS - 1962

17 - CHAVIALLE - PEYCELON

Variations du taux de la glycémie au cours de l'effort.

Revue de l'Institut National des Sports. Nov 1947, N° 2, 8.

18 - CHOISY H - POTRON G - FONDEVILLE D - KOCHMAN S - BATTEUX S - DUBOIS DE MONTREYNAUD J.M .

Enregistrement en continu de la glycémie et de la fonction pulmonaire chez le sujet normal pendant l'effort.

Ann.Med. de REIMS, 1967, IV, 36-42.

19 - CHRISTENSEN E.H.

Beitrage zur Physiologie schaverer körperlicher Arbeit

Arbeit physiologie , 1931, vol 4 . p 128-153.

20 - CHRISTENSEN - A KROGH - J LINDHARD.

Recherches sur l'effort musculaire intense.

Bul. Trimes. de l'org. d'Hyg. 1934 - 3 - 407.

21 - CIER J.F.

Circulation pulmonaire et échanges gazeux au niveau des poumons.

Presse Médicale. 1957, 65, 1291- 94

22 - COMROE J.

Physiologie de la respiration

Ed. Masson & Cie 1967

23 - CONARD V.

Fonction glycogénique du foie

Rev. de Med. Nov 1966, 997 - 1002?

24 - CRONIN R.F.P. MACINTOSH D.J.

The effect on induced hypoxia on oxygen uptake during muscular exercise in normal subjects.

Canadian J . biochem. Physiol, 1962, 40, 717-26.

25 - DAMOISEAU J - PETIT JM - NAMUR M - LAGNEAU D.

Régime ventilatoire stable au cours de l'exercice musculaire prolongé chez l'individu sain.

Arch. internat. Physiol. bioch. 69, 409, 1961.

26 - DEJOURS P.

Régulation de la ventilation au cours de l'exercice musculaire chez l'homme.

Journal de physiol. 1959, T 51, N° 2, 163-261.

27 - DEJOURS P - LABROUSSE Y - RAYNAUD J - FLANDROIS R.

Etude du stimulus gaz carbonique de la ventilation chez l'homme

J. Physiol - Paris - 1958, 50, 239-243.

28 - DEJOURS P - LABROUSSE Y - TEYLAC A.

Etude du stimulus oxygène de la ventilation au repos et au cours de l'exercice musculaire à basse altitude chez l'homme.

Rev. fse. et. clin. biol, 1958, 3 , 105 -123.

29 - DEJOURS P - RAYNAUD J - GUENOD - LABROUSSE Y -

Modifications instantanées de la ventilation au début et à l'arrêt de l'exercice musculaire. Interprétation.

J. Physiol. Paris 1955 , 47 , 155-159.

30 - DEJOURS P - TEILLAC .

Caractères des variations de la ventilation pulmonaire au cours de l'exercice pulmonaire dynamique chez l'homme. Etude expérimentale et théorique.

Rev. Fse. et.clin. biol. (1963) 8, N° 5 , 438-44.

31 - DENOLIN

La fonction pulmonaire au cours de l'exercice.

Acta. belg. Arté. Med. pharm. Militari, 1957, 4, 521-72.

32 - DESCOMPS B - BARJON P - CRASTES DE PAULET A.

Le métabolisme et le rôle physiologique des Acides Gras Libres Plasmatiques.

Path Biol 1967 . 15-78

33 - DESGEORGES Y.

L'épreuve d'hypoxie contrôlée en physiopathologie respiratoire

60 p.dactyl.(Thèse Marseille 1963, N° 107)

34 - DOLE V.P.

A relation between non esterified fatty acids in plasma and the metabolism of glucose.

J. Clin. Invest. 1956, 35, 150

35 - DOLE V.P. - JAMES A.T. - WEBB J.P. - RIZECK M.A. STURMAN M.F.

The fatty acids patterns of plasma lipids during alimentary lipemia

J. Clin. Invest. 1959. 38, 1544

36 - DURAND D - SADOUL P.

Etude des paramètres respiratoires au cours des épreuves d'exercices musculaires de durée moyenne à puissance constante chez le sujet sain.

Poumon et coeur, 1959, 15, 897

37 - DURAND D - SAUNIER C.

Etude des paramètres respiratoires au cours des épreuves d'exercices musculaire de durée moyenne à puissance constante chez le sujet sain.

Poumon et coeur. 1959, 15 , 909.

38 - EULER U.S. VON . HELINER S

Excretion of noradrenaline end adrenaline in muscular work.

Acta physiol; scand. 1955 33, suppl 118.10

39 - EULER U.S. VON . LUFT R.

The effect of insulin on urinary excretion of adrenaline and noradrenaline studies in ten healthy subjects and in six cases of acromégaly. Metabolism 1952 , 1 , 528

40 - FABRE J - PINGANNAUD M - CASSEUR P.

Etude de l'évolution de la glycémie chez les pilotes en fonction de la ration glucidique.

Rev. Med. Aer. Fr; 1965, 4, N° 16, 12-5

41 - FELICIANO J.M - LAVAL P - DURON B - ANDRAC Cl

L'épreuve d'hypoxie contrôlée en physiopathologie respiratoire.

J. Franç de Med.et de chir. Thorac 1967 XXI N° 2 167-180

---

42 - FLANDROIS R - SEPETJIAN J - LACOUR JR.

La détermination de l'aptitude physique: les indices morphologiques et les épreuves fonctionnelles respiratoires et circulatoires.

Rev. Corps Santé Armées. Fr. , 1966, 7 , 961-81

---

43 - FLEISCH A.

Les épreuves d'effort de durée moyenne chez l'homme sain

Poumon et coeur, 1959, 15, 883.

---

44 - FORNOZA

Glucose et Amino-acides au cours des activités sportives.

Med. Educ. physique et sport. 1965, 183-194

---

45 - FRANCK C - GRANDPIERRE R - LEMAIRE R et AUSCHER C.

Action de l'anoxémie sur l'hyperglycémie adrénalinique

CR. Soc . Biol. 1947 141 p. 776

---

46 - FREINKEL N

Extra thyroïdal actions of pituitary thyrotropin effects on the carbohydrate lipid and respiratory metabolism of rat adipose tissue.

J. Clin. Invest. 1961. 40. 476.

---

47 - FREYCHET

L'hyperglycémie provoquée par voie orale. Variations de la glycémie.

Revue du Prat. 25 Oct.68 27 bis 3973

48 - FREYCHET P - TCHOBRONTSKY G .

L'hyperglycémie provoquée par voie digestive. Variations de la glycémie. Techniques utilisées. Résultats dans diverses conditions cliniques. Journées de diabétologie de l'Hôtel Dieu 1968. Paris Ed. Médicales Flammarion p.249

49 - FRIEDBERG S.J. - HARLAN W.R. - TRONT D.L. ESTES E.H.

The effect of exercise on the concentration and turn over of plasma non esterified fatty acids.

J. Clin. Invest. 1960. 39. 215.

50 - FRIEDBERG S.J.-SHER P.B. - BOGDONOFF M.D. - ESTES E.H

Changes in emotional state and in plasma free fatty acid metabolism during exercise.

J. Lipid Res. 1963. 4. 34.

51 - GALETTI P.M.

Les échanges respiratoires pendant l'exercice musculaire

Helvetica physiologica. 1959, Acta 17, 34-61.

52 - GALETTI P.M. - HAAB P - FLEISCH A .

L'état d'équilibre des échanges respiratoires pendant l'exercice musculaire

J. Physiol. , 48, 548, 1958.

53 - GALLI A - JEANMAIRE J - CHOISY H - SCHULLER E -

Etude de l'épreuve de tolérance au glucose par voie veineuse. Premiers résultats obtenus par l'analyse en continu.

Ann. Biol. Clin. 1961. 19. 549-577.

54 - GRODON R.S. Jr - CHERKES A -

Unesterified fatty acids in human blood plasma.

J. Clin. Invest. 1956, 35, 206.

55 - GROT JV - KOLWALSKI F.

Recherche de la régulation de la glycémie dans l'influence de l'effort.

Le sang, Paris, 1931, pp.405-424.

56 - GUY - GRAND B - BOUR H -

Variations des A G L P au cours des hyperglycémies provoquées par voie orale.

J. Ann. Diabétol. Hôtel Dieu. Paris 1968 . Ed Flammarion p. 319

57 - HANOUNE J - SALTREL H - DE GENNES J.L.

Métabolisme des Acides Gras Libres

Rev. Prat. 1965. XV - 4133

58 - HAMLIN J.T - HICKLER R.B. - HOSKINS R.G.

Free fatty acids mobilization by neuroadrenergic. Stimulation in man.

J. Clin. Invest. 1960, 39, 606.

59 - HAVEL R J .

Transport of fatty acids in the blood " Effects of drugs on synthesis and mobilization of lipids"

1961 , Ed. by Horning E C.

60 - HAVEL R J - NAIMARK A - BORCHGREVINCK C F

Turn over rate ant oxidation of free acids of blood plasma in man during exercise.

J. Clin. Invest. , 1963, 42, 1054.

61 - HEYRAUD F.

Contribution expérimentale à l'étude des effets hypoglycémiants des exercices de fond.

Thèse Med. Marseille pp. 85 - 1950

62 - HOFFMAN WS -

A rapid photoelectric method for the determination of glucose in blood and urine.

J. Biol. Chem., 1937, 120, 51-55.

63 - HOLLENBERG CH - REBEN M S - ATWOOD E.B.

The lipolytic response to corticotropin

"Endocrinology 1961. 68, 589.

64 - IAKOLEV N.N. - KOROBKOW & IANANIS.

Les bases physiologiques et biochimiques de la théorie et des méthodes d'entraînement sportif. 1960

Traduction - Fédération sportive et gymnique du travail.

65 - Journal of lipid Research . April 1965

Volume 6. Pages 307 à 312.

66 - JOYE H.

Comparaison des composantes rapides et lentes de la courbe de consommation d'oxygène, d'élimination du gaz carbonique et de la courbe de ventilation pendant la période de récupération.

Int. Angeww. Physiol. einschl. Arbeit physiol. 1968,25,210-23

67 - KOPF

Méthodes utilisées pour étudier la consommation périphérique du glucose.

Revue Prat. Tome XIX N° 9 bis 25 Mars 1969, p.1375.

68 - KREUZER. F

Transfer of oxygen in moderate hypoxia at rest and at severe exercise.

Med. Thorac 1966, 23, 321-9.

69 - LACOUR J R - FLANDROIS R - HEBRAL D - RIOTTE M.

Etude expérimentale de quelques épreuves de détermination indirecte de l'aptitude physique.

J. physiol. Fr. 1966, 58, N° 2, 244

70 - LAURELL S -

Plasma free fatty acids in diabetic acidosis and starvation.

Scana J. Clin. Invest. 1956, 8, 81.

71 - LAURELL S -

Distribution of ^{14}C in rats after intravenous injection of palmitic acid I ^{14}C

Acta physiol. scand. 1959, 46-97

72 - LAVARENNE J.

Technique d'étude de la fonction pulmonaire.

Clermont Médical. 1959, N° 38, p.27.

---

73 - LEFEBVRE P

Glucagon et taux sanguin des Acides Gras non estérifiés chez l'homme.

Ann. Endocr. 1965, 26, 602

---

74 - LEGRIS J.J.

Principales modifications physico chimiques du plasma sanguin au cours du travail musculaire chez l'homme.

Thèse Pharm. Toulouse 1963. Toulouse imprimerie. V^{e} Lion 1963

---

75 - LEROY D - DESNOS J.

La rééducation respiratoire

Rev. cinésiologie. 3ème trimestre 1963.

---

76 - LESTRADET .

Etude physiopathologique générale des relations entre le métabolisme des sucres et celui des lipides.

1952.

---

77 - LESTRADET H.

La régulation de la glycémie.

Rev. de Med. Sept 1966, 661-669

---

78 - LEVINE- GORDON - DERICK.

Quelques changements dans les constituants chimiques du sang après une course de marathon.

Jour. Amer. Med. ASS. 1924, t 82, p.177.

---

79 - LIPSETT M.B. - ENGEL H R - BERGENSTAL D M.

Effects of glucagon on unesterified fatty acids and in nitrogen metabolism.

J. Lab. Clin. Med. 1960, 56, 342.

---

80 - LUBETZKI J

Les effets physiologiques de l'insuline

Etu. Med. Mai 1965, 95-98.

---

81 - J LUBETZKI & J DUPREY

Enregistrement continu de la glycémie.

Revue du Praticien. Tome XVIII. N° 27 bis. 4085

---

82 - MACORIGH. F

Sport, éducation physique et diabète insulinique

Revue Les cahiers scient. d'E.P. Juin-sept 1966 , 17-24

---

83 - MARTIN DU PAN R

La glycémie, ses modifications sous l'influence du travail.

Arbeit physiologie 1943, 12, 377-430.

---

84 - MARTINEAUD

Rapport de mission Mexico. Octobre 1966

Non publié.

85 - MATTEI A - VAGUE Ph

Cortico-surrenale et métabolisme glucido-protidique

Rev. de Med. Nov. 1966, 953-958

86 - MELON J.M - LONGUEVILLE L - WINTREBERT H - HENNAPE G - RAVAILLEA J.

Etude des variations de la glycémie et de l'electrocardiogramme chez le sportif âgé après un effort prolongé.

Ann. Anesth. fr. 1964, 5 , 345-9

87 - MOULINIER J

Contribution à l'étude des répercussions du travail musculaire sur la glycémie.

Thèse Med, Bordeaux 1965, N° 47.

88 - O M S

Le diabète sucré. Rapport d'un comité d'experts de l'O M S.

1965 - N° 310.

89 - ORTHOLAN M.

Variations de la glycémie au cours de l'exercice musculaire

Thèse Med. Toulouse pp.80 - 1943

90 - PETIT J M - PIRNAY F - DEROANNE R - BOTTIN R

Mesure simplifiée du régime stable ventilatoire maximum au cours de l'exercice musculaire.

Acta tuberc. Pneumol. (1966), 57, N° 2, 71-82.

91 - PETIT J.M - PIRNAY F - DEROANNE R- JUCHMES J - BOTTIN R.

Régime stable ventilatoire maximum d'exercice musculaire et consommation maximum d'oxygène.

Arch. internat. Physiol. Biochim. Belg. 1966, 74, N° 5, 904-8

92 - PINGANNAUD P M - COCHIN P

Etude expérimentale des effets de l'hypoxie et de l'hyperoxie sur la glycémie.

Revue de med. aer. et spac. 1968, VII, 81-85

93 - PINGANNAUD P M - DIDROVSKI R

Etude expérimentale des relations métaboliques entre l'hypoxie et l'hypoglycémie.

Revue de med. aer. et spac. 1968 , T VII, 4ème trimestre 244-245

94 - PITTELOUD J.J.

Effets de l'âge et de l'entraînement sur les échanges respiratoires mesurés en état d'équilibre lors de l'exercice musculaire.

Revue Med. Nancy. 1957, 82, 880

95 - RABEN M S - HOLLENBERG C H

Effects of growth hormone on plasma fatty acids

J. Clin. Invest. 1959, 38, 484.

Uptake and release of F.A. by adipose tissue

J. Clin. Invest., 1959, 38, 1032

96 - RANDLE P.J - GARLAND P.B. - HALES C.N - NEWSHOLME S.A.

The glucose fatty acid cycle

Lancet, 1963, 1 , 785 -

97 - RESHEF L - SHAPIRO B -

Effect of epinephrine, cortisone and growth hormones on release of unesterified fatty acids by adipose tissue in vitro.

Metabolism. 1960, 9, 551 .

98 - RICHARD J - HAVEL - LARS A - CARLSON - LARS GORAN EKELUND AND AFF HOLMGREN .

Turn over rate and oxidation of different free fatty acids in man during exercise.

In Journal of applied physiology. 1964, 19 -

99 - RIVOLIER J

Les besoins glucidiques des sportifs

Bul. Soc. Scient. Hyg. Alim. fr. (1963) 51, N° 1-2-3. 50-61.

100- RIZACK M.A.

Activation of epinephrine. Sensitive lipolytic activity from adipose tissue by adenosine 3'-5'- phosphate

J. Biol. Chem. 1964, 239, 392.

101- ROUGIER G - BABIN J.P.

Comparaison de quelques valeurs fontionnelles pulmonaires chez le Noir et chez le Blanc

102 - ROUGIER G - BABIN J.P.

Glycémie et travail musculaire

L'homme sain - Mars 1966, 63-69

103 - RUITTON

Laboratoire et épreuve d'hyperglycémie par voie orale.

Cahiers médicaux Lyonnais 1969 - Vol 45- 24 - 2537

104 - SCHAPIRA G & NORDMANN Y.

Structure et métabolisme du glycogène.

Revue de Med. Nov 1966, 991-994

105 - SHAFRIR E - STEINBERG D-

The essential role of the adrenal cortex in the response of plasma free fatty acids, cholesterol and phospholipids to epinephrine injection.

J. Clin. Invest. 1960, 39, 310.

106 - SAIFER A - GOLDMAN L -

The free acids bound to human serum albumin.

J. Lipid Res. 1961, 2, 268.

107 - TRUCHET Cl - Mme FONDEVILLE D - MEAUJEAN A - Mme LAMBERT.F - GAUGE Ph - DUBOIS DE MONTREYNAUD J.M.

Etude de certaines modifications ventilatoires lors du passage en atmosphère hypoxique au cours d'un travail en état d'équilibre.

Ann. Med. de Reims, 1968, V , 189-194.

108 - VAGUE Ph - BOEUF G - LEROY C .

L'insuline plasmatique

Revue de Med. Avril 1966, 391-402

109 - VAN DUYNE C.M. - HAVEL R.J.

Plasma unesterified fatty acid concentration in fetal neonatal life.

110 - VAN LIERRE E.J. & MORGANTOWN N.

Resistance to hypoxia

Arch. Int. Med. ,1964, 113, 418-25

111 - VAUGHAN M.

The metabolism of adipose tissue in vitro

J. Lipid Res., 1961, 2, 293.

112 - VAUGHAN M - BERGER J.E - STEINBERG D.

Hormones sensitive lipase and monoglyceride lipase activities in adipose tissue.

J. Biol. Chem.,1964, 239, 401.

113 - VAUGHAN M - STEINBERG D.

Release of free fatty acids from adipose tissue in vitro in relation to rates of triglycerides synthesis and degradation.

In "Adipose tissue" Hand book of physiology. 1965, 335.

114- VAUGHAN M - STEINBERG D -

Glyceride biosynthesis, glyceride breakdown in adipose tissue.

Mecanism and regulation

In "Adipose tissue " Hand book of physiology 1965, 250

115- WANDO KANTY - BOLESLAN DZIEDZIC.

La glycosurie et l'hyperglycémie chez certains sportifs.

Revue polonaise " Sports de compétition " Fev 1966.

116- WUSCHECH H - KOLHER W - FRIEDEL W - SCHNEIDER N .

Comportement des acides gras libres et de la glycémie chez les sportifs après surcharge calculée de l'épreuve de la bicyclette ergométrique.

Deutsch Gesundh, 1964, 19, 1668-1670